

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інфокомунікаційних систем і технологій

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування»

Виконав: студент 2-го курсу,
групи ТКС-21м
спеціальності 172 – Телекомунікації та
радіотехніка

Лугініч Є.В. Лугініч Є.В.

Керівник: к.т.н., ст. викл. каф. ІКСТ
Макогон В.І. Макогон В.І.
«16» 12 2022 р.

Опонент: д.т.н., професор, зав.каф. ІРТС
Осадчук О.В. Осадчук О.В.
«16» 12 2022 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ІКСТ

Кичак В.М. д.т.н., проф. Кичак В.М.
«16» 12 2022 р.

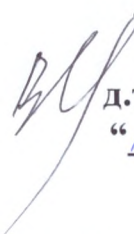
Вінниця ВНТУ – 2022 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра інфокомунікаційних систем і технологій
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань - 17– Електроніка та телекомунікації
(шифр і назва)

Спеціальність - 172 – Телекомунікації та радіотехніка
(шифр і назва)

Освітньо-професійна програма - Телекомунікаційні системи та мережі

ЗАТВЕРДЖУЮ


Завідувач кафедри ІКСТ
д.т.н., професор В.М. Кичак
"14" 09 2022 року

З А В Д А Н Н Я **НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Лугінічу Євгенію Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування

керівник роботи Макогон Віталій Іванович, канд. техн. наук

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затвержені наказом вищого навчального закладу від "14" 09 2022 року № 203

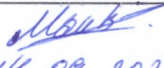
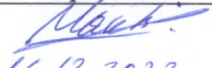
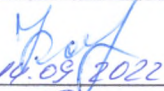
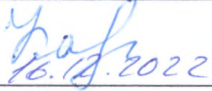
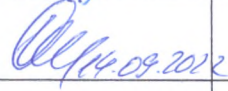
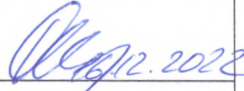
2. Строк подання студентом роботи 12 грудня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи Мережа сенсорів стандарту IEEE 802.15, наявність деревовидної топології з елементами зірка та точка – точка, швидкість передачі в мережі до 250кБіт/с; кількість елементів в мережі 5-100.

4. Зміст текстової частини: техніко-економічне обґрунтування доцільності розробки методів підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування; аналіз методів підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування; удосконалення методів підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування; огляд практичної реалізації методів підвищення ефективності безпроводних мереж.

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Бездротова сенсорна мережа; Види топологій бездротових сенсорних мереж; Вигляд діаграми Вороного для безпроводних сенсорних мереж; Результати моделювання топології розробленої з використанням нечіткої логіки; Результати моделювання безпроводних сенсорних мереж; Моделювання кількості сеансів зв'язку для різних топологій безпроводних сенсорних мереж.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	Макогон В.І., ст. викладач кафедри ІКСТ	 14.09.2022	 16.12.2022
Економічна частина	Кавецький В.В. доцент кафедри ЕПВМ	 14.09.2022	 16.12.2022
Охорона праці та БНС	Дембичька С.В. професор кафедри БЖДТБ	 14.09.2022	 16.12.2022

7. Дата видачі завдання 01 вересня 2022 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка технічного завдання	12.09.2022р.	
2.	Техніко-економічне обґрунтування розробки	19.09.2022р.	
3.	Аналіз методів і засобів підвищення ефективності безпроводних мереж	07.10.2022р.	
4.	Розробка методу підвищення ефективності безпроводних мереж	28.10.2022р.	
5.	Дослідження параметрів і характеристик покращених безпроводних мереж	18.11.2022р.	
6.	Аналіз економічної ефективності розробки	25.11.2022р.	
7.	Охорона праці та безпека життєдіяльності	02.12.2022р.	
8.	Оформлення пояснювальної записки та графічної частини	09.12.2022р.	
9.	Нормоконтроль МКР	12.12.2022р.	
10.	Попередній захист МКР, опонування МКР	14.12.2022р.	
11.	Захист МКР ЕК	19.12.2022р.	

Студент


 (Підпис)

Лугініч Є.В.

Керівник роботи



Макогон В.І.

АНОТАЦІЯ

Підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування. Магістерська кваліфікаційна робота / Є.В. Лугініч – ВНТУ, 2022 р. – 116 с., 28 рис., - українською мовою.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є оцінювання енергетичних характеристик, пропускної здатності та завадостійкості безпроводних сенсорних мереж. Визначені задачі та функції системи віддаленого моніторингу та керування, проведений аналіз існуючих методів побудови та оптимізації роботи мережі. Розглянуті особливості використання нечіткої логіки у процесі проектування безпроводних сенсорних мереж. Наведені результати моделювання безпроводних сенсорних мереж зпроектованих з використанням нечіткої логіки.

Виконано техніко-економічне обґрунтування розробки, розглянуті питання охорони праці та безпеки життєдіяльності.

Ключові слова: безпроводна сенсорна мережа, телекомунікаційний пристрій, інфокомунікаційна мережа, безпроводний зв'язок, машинне навчання, нечітка логіка.

ANNOTATION

Increasing the efficiency of wireless networks in remote monitoring and control systems. Master's qualification thesis / E.V. Luginich - VNTU, 2022 - 116 pp., 28 figures, - in Ukrainian.

The purpose of the master's qualification work is to evaluate the energy characteristics, bandwidth and interference resistance of wireless sensor networks. The tasks and functions of the remote monitoring and control system were defined, the existing methods of building and optimizing the network were analyzed. Features of the use of fuzzy logic in the process of designing wireless sensor networks are considered. The results of modeling wireless sensor networks designed using fuzzy logic are given.

The technical and economic substantiation of the development was carried out, the issues of labor protection and life safety were considered.

Keywords: wireless sensor network, telecommunication device, information communication network, wireless communication, machine learning, fuzzy logic.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	8
ВСТУП.....	9
1 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РОЗРОБКИ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БЕЗПРОВІДНИХ МЕРЕЖ У СИСТЕМАХ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ	14
1.1 Сутність технічної задачі на сучасному етапі розвитку науки, техніки та технологій	14
1.2 Вимоги до сенсорних мереж для віддаленого моніторингу.....	18
1.3 Базовий стандарт для бездротових сенсорних мереж	20
2 РОЗРОБКА МЕРЕЖ ВІДДАЛЕНОГО ДОСТУПУ І КЕРУВАННЯ.....	30
2.1 Розробка мереж віддаленого моніторингу та керування за допомогою Діаграми Вороного.....	30
2.2 Використання діаграми Вороного для розташування вузлів.....	32
2.3 Системна модель для планування вузлів мережі.....	35
2.4 Планування розміщення вузлів.....	36
2.5 Алгоритм побудови діаграми Вороного шляхом перетину напівплощин ..	40
3 РОЗРАХУНОК СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ.....	45
3.1 Особливості сенсорних мереж та використання нечіткої логіки для їх проектування.....	45
3.2 Вибір головного вузла кластера на основі нечіткої логіки.....	49
3.3 Перевірка результатів роботи запропонованого методу.....	54
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	58
4.1 Оцінювання наукового ефекту.....	58
4.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи.....	63
4.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи.....	75

4.4 Висновок до розділу 4.....	77
5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....	78
5.1 Технічні рішення з безпечного виконання робіт	78
5.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	81
5.3 Безпека у надзвичайних ситуаціях.	88
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	91
Додаток А (обов'язковий) Технічне завдання.....	96
Додаток Б (обов'язковий) Протокол перевірки кваліфікаційної роботи на наявність текстових запозичень.....	103
Додаток В (обов'язковий) Бездротова сенсорна мережа.....	105
Додаток Г (обов'язковий) Види топологій бездротових сенсорних мереж....	107
Додаток Д (обов'язковий) Вигляд діаграми Вороного для безпроводних сенсорних мереж.....	109
Додаток Е (обов'язковий) Результати моделювання топології розробленої з використанням нечіткої логіки.....	111
Додаток Ж (обов'язковий) Результати моделювання безпроводних сенсорних мереж	113
Додаток Л (обов'язковий) Моделювання кількості сеансів зв'язку для різних топологій безпроводних сенсорних мереж.....	115

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

МС	– мобільна станція
БСМ	– бездротова сенсорна мережа
ТД	– точка доступу
АСК	– підтвердження
AES	– розширений стандарт шифрування
BSS	– набір базових послуг
DSSS	– метод прямої послідовності для розширення спектра
EAP	– розширюваний протокол автентифікації
FHSS	– розширення спектра при стрибкоподібній зміні частоти
LAN	– локальна мережа
PMK	– парний майстер-ключ
QoS	– якість обслуговування
TKIP	– протокол цілісності тимчасового ключа
WLAN	– бездротова локальна мережа

ВСТУП

Актуальність теми. В даний час, розумні електромережі, розумні будинки, розумні системи водопостачання та розумні транспортні системи являють собою інфраструктуру, що пов'язує воедино наш світ набагато тісніше, ніж будь-коли раніше. Ці системи, як правило, пов'язані єдиною концепцією – інтернетом речей (IoT), де за допомогою датчиків вся фізична інфраструктура тісно пов'язана з інформаційно-комунікаційними технологіями; а інтелектуальний контроль та управління здійснюється при потужності вбудованих мережевих пристроїв. У такій складній динамічній системі пристрої взаємопов'язані для передачі вимірюваних даних і команд управління по мережах розподілених датчиків.

Бездротова сенсорна мережа (БСМ) представляє собою мережу, включаючи велику кількість вузлів-датчиків, де кожен вузол оснащений датчиком для вимірювання фізичних явищ, таких як світло, тепло, тиск і т.д. Бездротові сенсорні мережі – революційний метод збору інформації з метою створення інформаційно-комунікаційної системи, яка значно покращить надійність та ефективність інфраструктури. На відміну від провідних рішень установка безпроводних сенсорних мереж є більш простою, при цьому сама мережа відрізняється більшою гнучкістю пристроїв. Завдяки швидкому технологічному розвитку датчиків бездротові сенсорні мережі стануть ключовою технологією IoT. Сенсорні безпроводні мережі широко застосовують для побудови мереж віддаленого контролю та керування. У сучасних сенсорних мережах з великою кількістю пристроїв актуальним є питання оптимальної побудови таких мереж із збереженням необхідного трафіку мережі.

Аналіз останніх досліджень. Великий внесок у розвиток теоретичних засад побудови сенсорних мереж, методів їх оптимального синтезу, методів забезпечення завадостійкості та підтримування необхідних швидкостей

передачі даних, підвищення ефективності безпроводних сенсорних мереж внесли такі вчені: В.А. Йосипенко, П.П. Воробієнко, І.С. Щербина, А.П. Бондарев, В.А. Іваненко, Р. Бест, Ван Тріс Г., Е.Д. Вітербі, А.Н. Зеленін, В. Еган, М.І. Жодзішський, А.Г. Зюко, В. Кроупа.

У працях зазначених та багатьох інших вчених визначені структури та значення параметрів пристроїв, які реалізують потенційну швидкість, максимальну точність та завадостійкість. Розроблені аналітичні та числові методи аналізу, які враховують розподіл потоку даних у мережі, випадкові або детерміновані завади.

Вітчизняні та закордонні автори вказують те, що сучасні бездротові сенсорні мережі активно впроваджуються в різних галузях, дозволяючи ефективно вирішувати складні завдання автоматизації та управління, моніторингу та контролю, оперуючи великими масивами вхідних та оброблюваних вихідних даних [1–5]. Взаємодіючи з керованими пристроями, датчики створюють розподілену систему збору, що самоорганізується, обробки та передачі інформації [6].

Бездротова сенсорна мережа – це самоорганізована ADHOC мережа, тобто мережа з децентралізованим режимом роботи, коли клієнтські станції взаємодіють безпосередньо один з одним без точки доступу [7, 8]. Таким чином, поняття «мережа, що самоорганізується» визначається як система, в якій окремі пристрої «вміють» самі знаходити один одного та формувати мережу, більше того, у разі виходу з ладу будь-якого з вузлів, вузли, що залишилися, можуть переналаштовуватися, переорієнтуватися, встановлюючи нові маршрути передачі повідомлень.

Кожен вузол є мініатюрним пристроєм, оснащеним сенсорами. Їх значну кількість і розміщення в ключових точках моніторингу ситуації або процесів дозволяє здійснювати збір інформації з великих площ протягом тривалого часу, що у свою чергу надає можливість відстежувати та аналізувати явища, раніше недоступні.

Однією з головних переваг і конкурентних переваг технології сенсорних мереж є здатність функціонування без необхідності прокладання дорогих кабелів разом з допоміжним обладнанням (кабельними каналами, клеммами, шафами тощо). А оскільки сенсорна мережа підтримує основні інтерфейси та протоколи, які застосовуються в нашій країні в даний час є реальна можливість інтегрувати її в існуючу мережу без проведення додаткової масштабної та дорогої реконструкції.

Таким чином, подальше проведення теоретичних і прикладних досліджень для розробки методів підвищення ефективності безпроводних мереж для систем віддаленого моніторингу та керування є актуальною науково-прикладною задачею.

Завданням цієї роботи є проведення аналізу існуючих методів підвищення ефективності безпроводних мереж для систем віддаленого моніторингу та керування.

Мета та постановка задачі. Метою кваліфікаційної роботи є аналіз та удосконалення існуючих методів підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого керування та моніторингу.

Для досягнення поставленої мети дослідження у роботі необхідно розв'язати такі задачі:

- виконати техніко-економічне обґрунтування доцільності дослідження;
- провести аналіз методів побудови безпроводних сенсорних мереж;
- провести аналіз показників ефективності безпроводних сенсорних мереж;
- провести аналіз методів підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування;
- провести оцінку впливу зовнішніх завад на показники ефективності безпроводних сенсорних мереж;
- провести аналіз методів підвищення швидкодії безпроводних

сенсорних мереж;

- проаналізувати економічну ефективність проведеного дослідження;
- здійснити аналіз питань охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Об'єктом досліджень є процеси передавання даних у цифрових безпроводових мережах.

Предметом дослідження є методи та засоби підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування.

Методи досліджень базуються на основах теорії кіл і сигналів[4], теорії передачі інформації[5], теорії завадостійкості[6], теорії оптимального приймання в каналах зв'язку[7], методах математичного та комп'ютерного моделювання[8].

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- проведена оцінка впливу зовнішніх завад на параметри бездротової сенсорної мережі, що дало можливість удосконалити методи підвищення завадостійкості;
- удосконалено метод побудови сенсорної мережі, що дає можливість зменшити вплив часу комутації вузлів мережі на швидкість передачі даних;
- удосконалено метод підвищення ефективності роботи безпроводної сенсорної мережі шляхом введення додаткових вузлів, які виконуватимуть функції мережевих комутаторів.

Практичне значення. Практичне значення одержаних результатів полягає в наступному:

- запропоновані методи побудови топологій безпроводних сенсорних мереж, які дозволяють на 15-20% підвищити швидкодію та захищеність безпроводних сенсорних мереж;
- запропонована нечітка логічна модель бездротової сенсорної мережі, використання якої дає можливість підвищити ефективність

безпроводних сенсорних мереж.

Апробація результатів роботи. Матеріали досліджень доповідались на науковому семінарі кафедри інфокомунікаційних систем і технологій ВНТУ у 2022р.

1. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ РОЗРОБКИ МЕТОДІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БЕЗПРОВІДНИХ МЕРЕЖ У СИСТЕМАХ ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ

1.1 Сутність технічної задачі на сучасному етапі розвитку науки, техніки та технологій

Сенсорна мережа – це розподілена, самоорганізована мережа низки датчиків і виконавчих пристроїв, об'єднаних між собою за допомогою радіоканалу. Такі мережі можуть використовувати у різних прикладних застосуваннях: охоронно-пожежних системах, контролюванні мікроклімату, автоматизації бізнес-процесів, обліку та оптимізації споживання водо та інших ресурсів тощо. Сфера покриття таких мереж складає від одного метра до кількох кілометрів. Наприклад, IEEE 802.11 – це стандарт бездротових локальних мереж Wi-Fi на частотах 5-6 ГГц.

Все різноманіття протоколів бездротового передавання даних можна класифікувати за кількома різними ознаками, обравши як параметр, наприклад, топологію мережі, швидкість роботи чи алгоритм підтримання безпеки.

Найбільш поширений метод класифікації – це радіус дії бездротової мережі. WWAN (Wireless Wide area network), в основному – це мережі стільникового в'язку, їх радіус дії становить десятки кілометрів, до цих мереж відносять такі протоколи як GSM, CDMAone, iDEN, PDC, GPRS, UMTS. WMAN (Wireless Metropolitan Area Networks) – це бездротові мережі масштабу міста, радіус дії таких мереж кілька кілометрів, прикладом протоколу цієї мережі є Wi-Fi та WiMAX мережі. Wireless LAN (Wireless Local Area Network) – це бездротова локальна обчислювальна мережа, радіус дії цього класу мереж кілька сотень метрів. До них належать такі

протоколи як UWB, Wi-Fi. WPAN застосовують для зв'язку різних пристроїв, включаючи комп'ютери, побутові прилади та оргтехніку, засоби зв'язку, радіус дії WPAN становить від кількох метрів до декількох десятків метрів. Його використовують як для об'єднання окремих пристроїв між собою, так і для зв'язку їх з мережами на основі протоколів RuBee, X10, Insteon, Bluetooth, ZigBee, Z-Wave, ANT, RFID.

Одним із базових стандартів цих мереж є стандарт IEEE 802.15.4 ZigBee, який, згідно з Альянсом ZigBee [2], має значно більшу гнучкість порівняно зі своїми аналогами. Реалізація стандарту ZigBee базується на трьох типах пристроїв: координаторі, маршрутизаторі та виконавчому пристрої (сенсорі чи датчику) [3]. Головним елементом у бездротовій сенсорній мережі стандарту ZigBee є єдиний координатор. Він керує всією мережею і до нього надходить вся інформація з мережі. Маршрутизатори керують потоками інформації між пристроями мережі і забезпечують найоптимальніші маршрути для подальшого передавання інформаційних пакетів, збиранням інформації та передаванням її в мережу.

Використання мікроконтролера Arduino для підключенні кінцевих пристроїв є достатньо ефективним в процесі організації бездротової сенсорної мережі. Це відкрита електронна платформа, призначена для швидкого створення інтерактивних електронних пристроїв, сформована на основі мікроконтролерів Atmel, використовуваних для отримання сигналів від аналогових і цифрових датчиків, керування різними виконавчими пристроями та обміну інформацією з комп'ютером за допомогою різних інтерфейсів.

Модулі XBee з'єднують згідно з конфігурацією PAN, базовою топологією таких систем є point-to-point або point-to-multipoint. Коли необхідно замінити дротовий послідовний зв'язок між двома віддаленими пристроями бездротовим зв'язком, тоді є зручною схема point-to-point, в

інших випадках за використання розподілених мереж датчиків використовують конфігурацію point-to-multipoint. Схему бездротової сенсорної мережі стандарту IEEE802.15.4 ZigBee на основі мікроконтролерів Arduino зображено на рисунку 1.1.

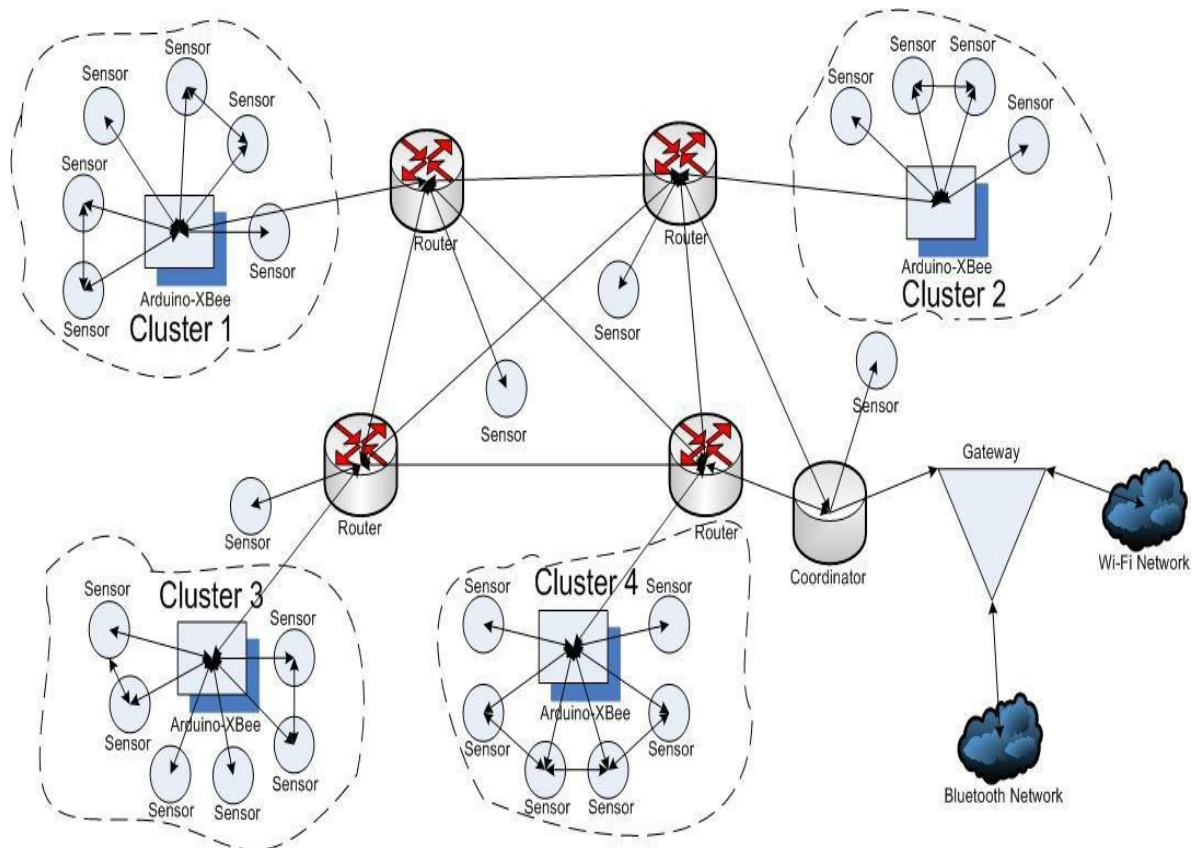


Рисунок 1.1 – Сенсорна мережа стандарту ZigBee на мікроконтролерах Arduino

До мережі входять: координатор, що керує бездротовою мережею, маршрутизатори, які направляють потоки інформації між пристроями. Сенсори виконують прийом інформації за допомогою плати Arduino-XBee, яка складається з плати Arduino, плати розширення Arduino-XBee та радіомодуля XBee. Мікроконтролери обробки інформації, агрегування

даних від вузлів мережі та керування вузлами мережі за допомогою API інтерфейсу. Таким чином координатор в цьому випадку виконує тільки моніторинг, конфігурацію, налаштування та адресацію мережі. Кластеризація полегшує керування та прийом інформації з кінцевих приладів, саме тому розподіляють мережу на кластери. Кластери сенсорної мережі об'єднують різні типи датчиків. Так, в кластері 1 можуть бути об'єднані датчики температури та спостереження, датчики освітлення і вологості, в кластері 2 – датчики температури і вологості, в кластері 3 – датчики відкриття дверей і відеоспостереження, датчики освітлення, а в кластері 4 – датчики освітлення та температури і датчик відкриття дверей. Як правило, у мережі адресація виконується бітовим ідентифікатором мережі. Бездротова сенсорна мережа може бути сегментом корпоративної мережі, також охоплює бездротову мережу стандарту Wi-Fi і бездротову мережу стандарту Bluetooth. Стандарт IEEE 802.15.1 Bluetooth [6] надає бездротове з'єднання невеликої дії. Він добре розвинений і його застосовують для комунікації мобільних телефонів, планшетних ПК, периферійного обладнання. Проте він не розрахований на мережі з низьким енергоспоживанням, що істотно обмежує його поширення в сенсорних мережах. Технологія Bluetooth Low Energy (BLE) Bluetooth 4.0 [7] є технологією бездротового зв'язку для ближніх комунікацій, розробленою групою Bluetooth SpecialInterest Group. На відміну від стандарту Bluetooth 3.0, BLE орієнтовано на застосування в системах збирання даних, моніторингу з автономним живленням. На відміну від технологій сенсорних мереж, таких як, ZigBee, 6LoWPAN або Wave, орієнтованих на розподілені мережі з численими передачами даних між вузлами мережі, Bluetooth Low Energy орієнтовано на топології типу point-to-point і зірка. Основними сферами застосування BLE є облаштування забезпечення безпеки, керування електроприладами і відображення даних, датчиками з батарейним живленням, домашніх медичних приладів, спортивних тренажерів. Мережа

стандарту Bluetooth, як і бездротова сенсорна мережа стандарту ZigBee, може бути реалізована на базі мікроконтролерів Arduino [8]. Згідно з BLE112 Datasheet [9], для взаємодії плати Arduino з мережею стандарту Bluetooth Low Energy.

На теперішній час область застосування БСМ постійно розширюється і можна прогнозувати, що в перспективі все фізичні об'єкти будуть забезпечені сенсорами, що мають IP-адреси з можливістю формування «Глобальної сенсорної мережі»

1.2 Вимоги до сенсорних мереж для віддаленого моніторингу

Головна особливість віддаленого моніторингу – це створення універсальної інтелектуальної системи для вироблення управлінських рішень на основі експрес-діагностики отриманих даних про стан навколишнього середовища. Збір первинних даних про стан оточуючого середовища в системі виконує БСМ. Система збору даних – це: мережа великої кількості сенсорів, які об'єднані між собою радіоканалом. Площа покриття подібної мережі може складати до декількох кілометрів за рахунок здатності ретранслювати дані від одного елемента до іншого. Основна перевага БСМ – це здатність контролювати в реальному часі параметри навколишнього середовища на великих територіях.

Типова сенсорна мережа має відповідати більшості вимог, які пред'являються екологічним моніторингом до БСМ. Ці вимоги враховують показники відмовостійкості, масштабування, топологію сенсорної мережі, апаратні обмеження, модель передачі даних та споживану потужність. Деякі вузли можуть вийти з ладу із-за збоїв енергопостачання, фізичних пошкоджень або стороннього втручання. Відмова одного вузла мережі не повинна суттєво впливати на роботу усієї БСМ.

Відмовостійкість мережі можна забезпечити шляхом правильного застосування чи розробки відповідних протоколів передачі даних або алгоритмів функціонування. Оскільки створювана БСМ призначається для роботи в умовах можливого впливу кліматичних умов, вона повинна мати високу відмовостійкість. Масштабування розроблюваної сенсорної мережі обмежується кількістю вузлів від десятків до декількох тисяч вузлів. Вважається, що БСМ виправдовує вкладені в неї кошти, якщо її розгортання є дешевшим від системи збору і обробки даних на основі традиційних датчиків.

Не зважаючи на те, що велика кількість вузлів, а також неможливість автоматизації їх розгортання виключає розташування їх у відповідності з чітко розробленим планом, схеми початкового розгортання мають відповідати таким вимогам:

- зменшувати витрати на монтаж;
- усувати необхідність будь-якої попередньої організації і планування;
- підвищувати гнучкість розташування;
- сприяти самоорганізації та відмовостійкості.

Вузли мережі можуть зменшувати вхідний сигнал із-за розрядження батареї або впливу фізичних факторів, тому в структурі БСМ можуть бути часті зміни топології після розгортання мережі. Інша топологія потребує зміну характеристик самих вузлів: положення, доступність (із-за завад, шумів, рухомих перешкод і т. д.), рівень заряду батареї, неполадки, зміна поставлених задач або ролі в мережі. Повинна бути передбачена можливість включення в БСМ резервних вузлів для заміни несправних вузлів або у зв'язку з розширенням мережі та відповідних її функцій. Характеристики БСМ для конкретної задачі повинні враховувати такі чинники :

- кількість вузлів може бути вище, ніж у традиційній розподіленій мережі збору і обробки даних;
- вузли потрібно розташовувати якомога щільніше;
- можуть відбуватися збої у роботі вузлів під впливом факторів природного чи техногенного походження;
- топологія мережі може змінюватися випадковим чином;
- вузли обмежені в енергоспоживанні, обчислювальних можливостях, обсязі пам'яті;
- бажано, щоб вузли не мали глобальних ідентифікаційних номерів із-за значних додаткових витрат на енергоспоживання та порівняно великої кількості вузлів.

Розробку БСМ для прикладної задачі, а саме, для застосування в екологічному моніторингу, потрібно розпочинати з розробки окремого вузла мережі. За основу використовують типовий вузол системи, який складається з декількох основних елементів (рисунок 1.2): блоку збору даних, блоку обробки даних, передавача і блоку живлення. Наявність додаткових модулів залежить від прикладної задачі БСМ. До додаткових модулів можна віднести систему визначення місцезнаходження, силовий генератор і мобілізатор. Модуль збору даних, як правило, складається з двох частин: сенсора і АЦП. Сигнал від сенсора після перетворення в АЦП передається в блок обробки. Передавач під'єднує вузол до мережі.

1.3 Базовий стандарт для бездротових сенсорних мереж

Бездротові технології і створювані на їх основі телекомунікаційні мережі мають ряд загальновідомих переваг в числі яких гнучка архітектура і низькі витрати при монтажі. В даний час до числа масових і найбільш затребуваних на споживчому ринку систем бездротового зв'язку можна віднести системи стільникового зв'язку, WiFi і Bluetooth. Кожна з них

характеризується дальністю і швидкістю передачі, діапазоном робочих частот, функціональними можливостями і сферою застосування, а також іншими характеристиками, що визначають архітектуру і структурні особливості розгортається на їх основі телекомунікаційних мереж (рис. 1.2).

В архітектурному аспекті головною відмінністю БСМ від класичних телекомунікаційних радіомереж є використання в мережі великого числа надмініатюрних інтелектуальних датчиків для передачі невеликих обсягів телеметричної інформації на середні відстані (10-100 м.).

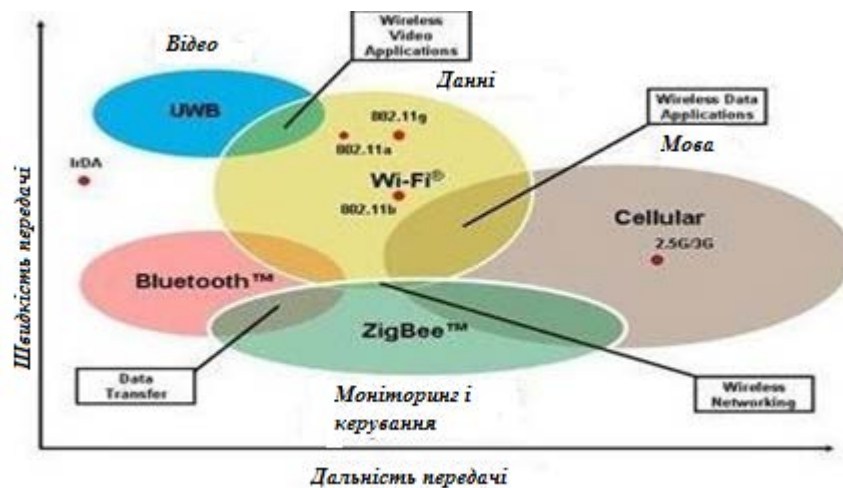


Рисунок 1.2 - Бездротові системи передачі інформації по радіоканалу

В експлуатаційному плані основними відмітними особливостями БСМ є вимоги стійкого функціонування в умовах динамічних змін в топології мережі через переміщення сенсорів, автономне електроживлення і суттєві обмеження в енергоспоживанні і обчислювальній продуктивності вбудованих в вузли мережі мікропроцесорів, пам'яті, трансиверів і інших мікроелектронних компонентів. При цьому в той же час умови функціонування БСМ передбачають передачі невеликих обсягів інформації з малою швидкістю. З огляду на запити ринку телекомунікацій в специфічній сфері моніторингу та управління об'єктами за допомогою бездротового зв'язку під егідою IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) в 2003 році була випущена

офіційна специфікація IEEE 802.15.4, що отримала статус стандарту. За планами розробників, новий стандарт повинен був забезпечити дальність з'єднання, порівнянну з WiFi, але при цьому мати менше енергоспоживання за рахунок низької швидкості передачі даних. В ряду найважливіших завдань також забезпечення роботи в режимі реального часу з використанням тимчасових слотів, запобігання колізій доступу і комплексна підтримка захисту мереж. Сумісні зі стандартом 802.15.4 пристрої повинні мати можливість управління витратою електроенергії і контролю якості з'єднань. У документі 802.15.4 визначені два нижніх рівні семирівневої мережевої моделі OSI: фізичний (PHY) і канальний (MAC). Фізичний рівень визначає спосіб передачі даних, інтерфейс організації зв'язку, апаратні особливості і параметри, необхідні для побудови мережі. На практиці фізичний рівень управляє роботою трансивера, виконує вибір каналів, сигналів управління і рівня потужності передачі.

В відповідність зі специфікацією стандарту 802.15.4 на фізичному рівні під обмін даними зарезервовані 27 каналів в трьох частотних діапазонах: 868 МГц, 910 МГц, 2.4 ГГц, що дозволяє використання стандарту в більшості країн світу та у виділених частотних смугах (рис. 1.3).

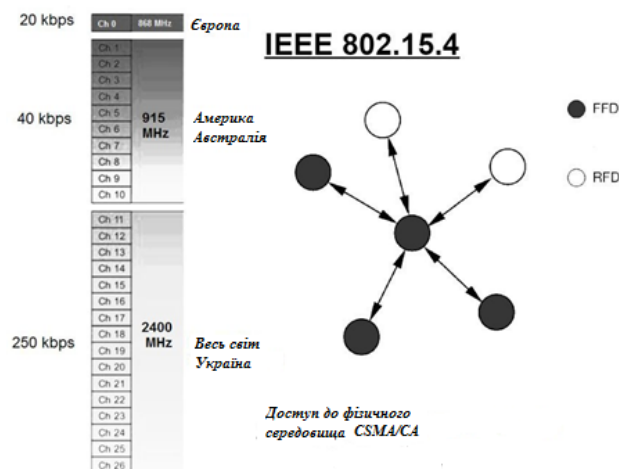


Рисунок 1.3 – Діапазон частот фізичного рівня стандарту 802.15.4

Перша версія стандарту 802.15.4 визначала два фізичних рівня з широкопasmового модуляції з прямим розширенням спектра DSSS (Direct Sequence Spread Spectrum): перший - в смузі 868/915 МГц зі швидкістю передачі відповідно 20 і 40 кбіт / с, а другий - в смузі 2450 МГц зі швидкістю 250 кбіт / с. У 2006 році допустимі швидкості передачі даних на частотах 868/915 МГц були збільшені до 100 і 250 кбіт / с. Крім того, були визначені чотири специфікації фізичного рівня в залежності від методу модуляції: при збереженні широкопasmового модуляції DSSS можливо використанні в діапазоні 868/915 МГц як двійковій, так і квадратурної фазової маніпуляції (QPSK - Quadrature Phase Shift Keying). З 2007 року в версію стандарту IEEE 802.15.4a число фізичних рівнів було збільшено до шести за рахунок включення рівня з надширокопasmових радіотехнології Ultra WideBand (UWB) для високошвидкісної передачі даних, а також специфікації рівня з радіотехнології Chirp Spread Spectrum (CSS), заснованої на розширенні частотного спектра методом лінійної частотної модуляції. Фізичний рівень UWB визначений виділеними частотами в трьох діапазонах: нижче 1 ГГц, 3-5 ГГц і 6-10 ГГц, а для CSS виділений спектр в смузі 2450 МГц неліцензованому діапазону ISM. У 2009 році в версіях стандартів IEEE 802.15.4c і IEEE 802.15.4d були розширені доступні частотні діапазони. Дані специфікації визначають можливість використання на фізичному рівні приймально-передавальні пристрої з квадратурної фазової маніпуляцією (Quadrature phase-shift keying, QPSK) або з фазовою маніпуляцією більш високих порядків (M-PSK) на частоті 780 МГц, а на частоті 950 МГц - гаусову частотну маніпуляцію (Gaussian frequency-shift keying, GFSK) або двійкову фазову маніпуляцію (Binary phase-shift keying, BPSK). Крім цього дослідницька група IEEE 802.15.4d в 2009 році включила в специфікації недавно відкриті діапазони 314-316 МГц, 430-434 МГц, і 779-787 МГц в Китаї, і визначила поправку до існуючого стандарту 802.15.4-2006 в частині підтримки діапазону 950-956 МГц в Японії.

На каналному рівні стандарт специфікація IEEE 802.15.4 визначає механізми взаємодії елементів мережі на фізичному рівні для забезпечення формування фрагментів даних (кадрів), перевірки та виправлення помилок, і відправки кадрів на мережевий рівень. При цьому підрівень MAC (media access control) каналного рівня регулює множинний доступ до фізичного середовища з поділом за часом, управляє зв'язками трасіверов і забезпечує безпеку.

IEEE 802.15.4 забезпечує двосторонню напівдуплексну передачу даних, підтримуючи при цьому шифрування AES 128. Доступ до каналу заснований на принципі Carrier Sense Multiple Access With Collision Avoidance (CSMA / CA) - Багатостанційний доступ з контролем несучої і запобіганням конфліктів ". CSMA / CA - це мережевий протокол, в якому використовується принцип прослуховування несучої частоти. Пристрій, який готовий до передачі даних посилає jam signal (сигнал затору) і прослуховує ефір. Якщо буде виявлено "чужий" jam signal, то передавач "засинає" на випадковий проміжок часу, а потім знову пробує почати передачу кадру. Таким чином, передача може виходити тільки від одного пристрою, що підвищує продуктивність мережі. При цьому дані передаються відносно невеликими пакетами, що характерно для трафіку сигналів управління і моніторингу в БСС. Важливою особливістю стандарту є обов'язкове підтвердження доставки повідомлень.

Особливістю пристроїв, об'єднаних в мережу по стандарту IEEE 802.15.4, є низьке енергоспоживання за рахунок переходу трансивера в режим "засипання" при відсутності даних для пересилання і збереження підключення в цьому режимі. При розробці стандарту, основний акцент робився на швидкість процесів конфігурації і реконфігурування. Зокрема, перехід приймача в активний стан триває близько 10-15 мс, а підключення до мережі нових пристроїв - від 30 мс. При цьому тривалість

реконфігурації і підключення пристроїв залежить від сталості «прослуховування» маршрутизаторами мережі.

Стандарт визначає два типи вузлів мережі: повнофункціональний пристрій FFD (Fully Function Device), яке може реалізувати як функцію координації роботи і установки параметрів мережі, так і працювати в режимі типового вузла, пристрій з обмеженим набором функцій RFD (Reduced Function Device), що володіє тільки можливістю підтримки зв'язку зповнофункціональними пристроями. У будь-якій мережі повинен бути, принаймні, один FFD, який реалізує функцію координатора. Кожен пристрій має 64-бітний ідентифікатор, але в деяких випадках для обмеженої області може використовуватися короткий 16-бітний для з'єднань в персональній мережі PAN (personal area network).

Топології мережі. На каналному рівні стандарті IEEE 802.15.4 наведені загальні рекомендації до побудови топології мережі. Мережі можуть бути одноранговими P2P (peer-to-peer, point-to-point), або мати топологію «зірка». На основі структури P2P можуть формуватися довільні структури з'єднань, обмежені лише дальністю зв'язку між парами вузлів. З урахуванням цього можливі різні варіанти топологічної структури БСС, зокрема «дерево» кластерів - структура, в якій RFD, будучи «листям дерева», пов'язані тільки з одним FFD, а більшість вузлів в мережі є FFD. Можлива також Mesh-мережі мережі, сформована на основі кластерних «дерев» з локальним координатором для кожного кластера і має глобальний мережевий координатор.

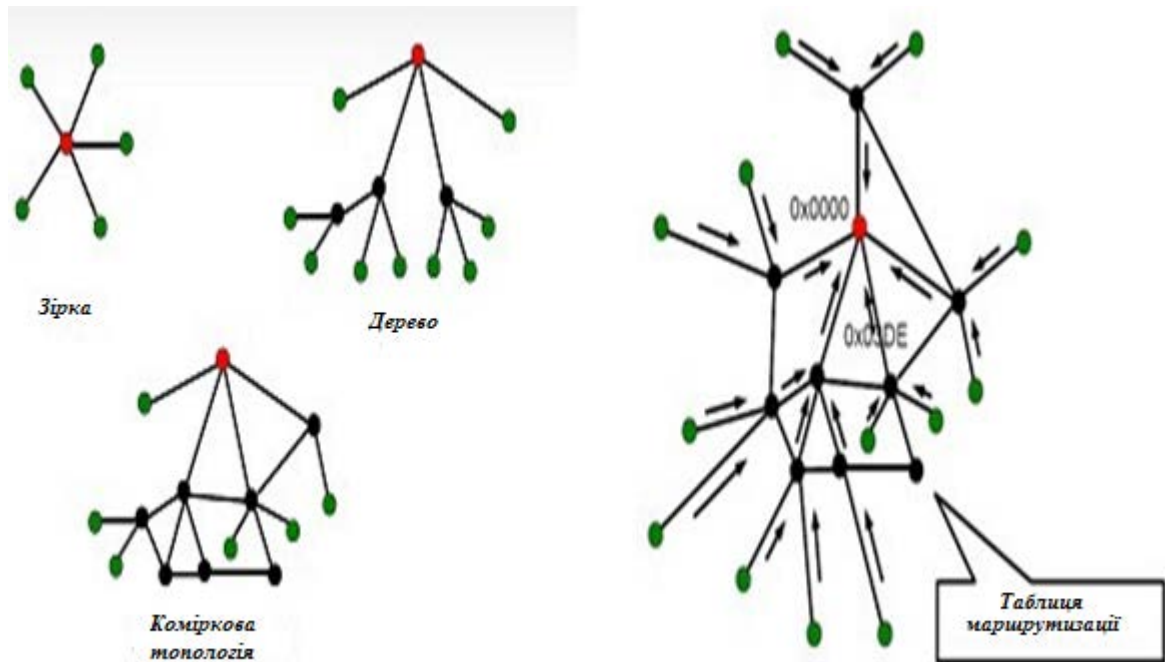


Рисунок 1.4 – Варіанти топології мереж стандарту IEEE 802.15.4

Крім стандартів 802.15.4./ZigBee для створення БСС можуть використовуватися специфікації інших стандартів бездротового зв'язку заснованих на IEEE 802.15.4 - 2005, зокрема WirelessHART і ISA100. Однак в даний час в області технологій бездротових сенсорних мереж ZigBee є стандартом, в найбільшій мірі підкріпленим представленими на ринку повністю сумісними апаратними та програмними засобами.

Крім того протоколи ZigBee дозволяють мережевим пристроям перебувати в сплячому режимі більшу частину часу, що істотно збільшує ресурс роботи вузлів при живленні від батарейних джерел. У БСМ на основі ZigBee підтримується режим "профілів пристроїв" або профілів для різних датчиків, які сумісні на рівні стека протоколу і можуть об'єднуватися в мережу, передавати, приймати і ретранслювати інформацію. У той же час "розуміти" цю інформацію буде тільки той пристрій, для якого вона призначена. На теперішній час є досить велика кількість різних ZigBee-продуктів, починаючи від мікросхем приймачів стандарту IEEE 802.15.4 і

закінчуючи готовими OEM-модулями з вбудованим програмним забезпеченням мережевого стека ZigBee.

Всі пристрої стандарту ZigBee в залежності від рівня складності поділяються на три класи, вищий з яких - координатор - управляє процесом формування мережі, зберігає дані про її топологію та служить шлюзом для передачі даних, що збирають від усіх сенсорів БСС для їх подальшої обробки. У мережі, як правило, використовується тільки один PAN-координатор. Середнє за складністю пристрій - маршрутизатор - здатний ретранслювати повідомлення, підтримувати всю топологію мережі, а також виконувати функції координатора кластера. І, нарешті, найпростіший пристрій - звичайний вузол - здатний лише передавати дані найближчому маршрутизатору.

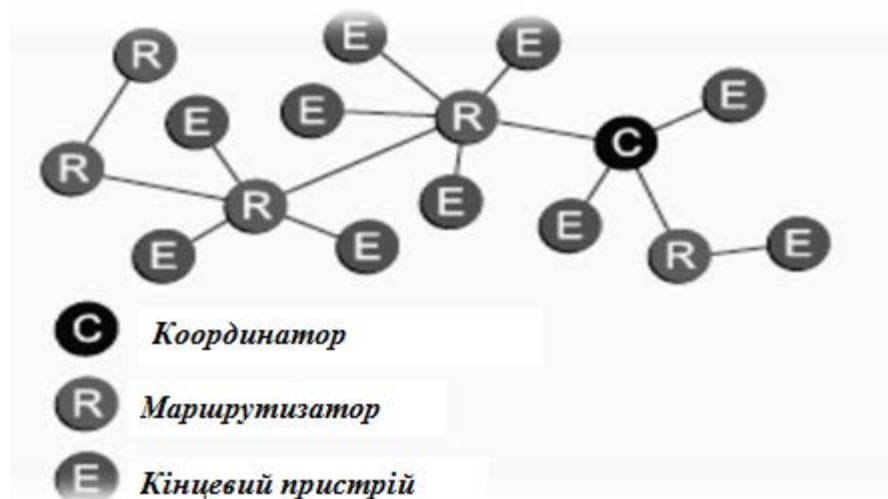


Рисунок 1.5 – Типова топологія мережі ZigBee

Стандарт ZigBee підтримує мережу з кластерної архітектурою (рис.1.5), сформованої зі звичайних вузлів, об'єднаних в кластери за допомогою маршрутизаторів. Маршрутизатор кластерів запитує сенсорні дані від пристроїв і, ретранслюючи, їх один одному, передають координатору, який зазвичай має зв'язок з IP-мережею, куди і відправляє

інформацію для накопичення і остаточної обробки. Мережа ZigBee є самоорганізованою, тобто всі вузли здатні самостійно визначати і коригувати маршрути доставки даних. Дані передаються за допомогою радіопередавачів від одних вузлів до інших по ланцюжку, і в підсумку найближчі до шлюзу вузли скидають всю акумульовану інформацію на шлюз. Ця інформація включає дані, що зчитуються з сенсорних датчиків, а також дані про стан пристроїв і результати процесу передачі інформації. У разі виходу частини пристроїв з ладу, робота сенсорної мережі після реконфігурації повинна продовжитися. Бездротові вузли функціонують під управлінням спеціального додатку. Зазвичай всі вузли сенсорної мережі використовують одну і ту ж керуючу програму, що забезпечує їх функціональність і виконання мережевих протоколів. Стандарт ZigBee є практично єдиним стандартом в області технологій БСС найбільш повно описує набір з семи рівнів класичної схеми взаємодії відкритих систем (OSI) і одночасно - в найбільшій мірою підкріпленим наявністю виробництва повністю сумісних апаратних засобів і програмних продуктів .

Таким чином, стандарт ZigBee є практично єдиним стандартом в області технологій БСС найбільш повно описує набір з семи рівнів класичної схеми взаємодії відкритих систем (OSI) і одночасно - в найбільшій мірою підкріпленим наявністю виробництва повністю сумісних апаратних засобів і програмних продуктів (рис. 1.6).

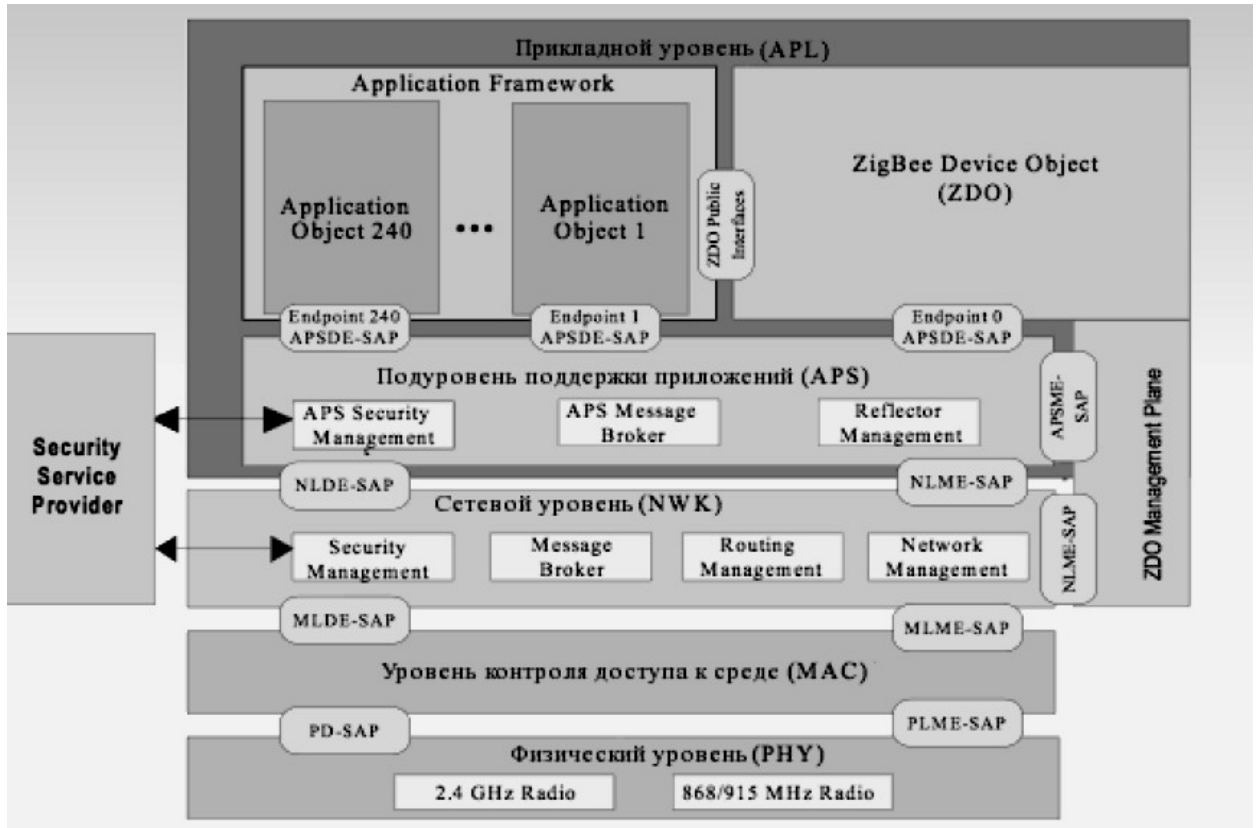


Рисунок 1.6 – Стек протоколов ZigBee

2 РОЗРОБКА МЕРЕЖ ВІДДАЛЕНОГО ДОСТУПУ І КЕРУВАННЯ

2.1 Розробка мереж віддаленого моніторингу та керування за допомогою Діаграми Вороного

Діаграма Вороного — це особливий вид розбиття метричного простору, що визначається відстанями до заданої дискретної множини ізольованих точок цього простору. Діаграма Вороного складається з так званих локусів - областей, в яких присутні всі точки, які знаходяться ближче до вибраної точки, ніж до всіх інших. У діаграмі Вороного локуси є опуклими багатокутниками. За визначенням локус будується таким чином.

Нехай маємо безліч з n точок, для якої ми будемо діаграму. Візьмемо довільну точку p , для якої будемо локус, і ще одну точку з даної безлічі - q (яка не дорівнює p). Проведемо відрізок, що з'єднає ці дві точки, і проведемо пряму, яка буде серединним перпендикуляром даного відрізка. Ця пряма ділить площину на дві півплощини - в одній лежить точка p , в іншій лежить точка q . В даному випадку локусами цих двох точок є отримані півплощини. Тобто для того, щоб побудувати локус точки p , потрібно отримати перетин всіх таких напівплощин (тобто на місці q побувають всі точки даної множини, крім p) (рис.2.1)

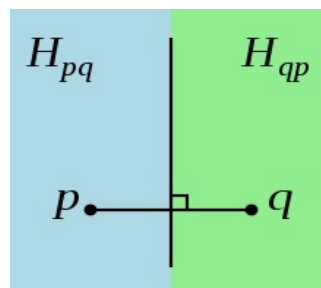


Рисунок 2.1 – Дві напівплощин для локусу точки p

Точку, для якої будується локус, називають сайтом (site). На рисунку 2.1 наведено приклад діаграми Вороного для декількох локусів, які позначені різними кольорами.



Рисунок 2.2 – Приклад діаграми Вороного

Алгоритми побудови діаграми якраз і є не що інше, як алгоритми побудови цих самих локусів для всіх точок з заданого набору. Локуси в даній задачі також називають багатокутниками Вороного або осередками Вороного.

Існує 4 основні алгоритму побудови діаграми Вороного:

1. Алгоритм побудови діаграми Вороного «прямий». Складність: (n^4) ;
2. Алгоритм побудови діаграми Вороного шляхом перетину напівплощин. Складність: $(n^2 * \log(n))$;
3. Алгоритм Форчун побудови діаграми Вороного на площині. Складність: $(n * \log(n))$;
4. Рекурсивний алгоритм побудови діаграми Вороного. Складність: $(n * \log(n))$. Для практичного користування в залежності від числа точок **n** вибирається необхідний алгоритм.

2.2. Використання діаграми Вороного для розташування вузлів

Бездротова сенсорна мережа - це особливий вид спеціальної мережі з розподіленими можливостями зондування та обробки, яка може бути використана в широкому діапазоні, таких як моніторинг навколишнього середовища, промислове застосування й т.д.

Незважаючи на свої потенційні можливості сенсорні мережі мають свої особливості, зв'язані з обмеженими ресурсами, такими як низька обчислювальна потужність, зменшена пропускну здатність та обмежене джерело живлення.

У випадку мережі з високою щільністю вузлів датчиків можуть виникнути такі проблеми, як перетин зони зондування, надлишкові дані, перешкоди зв'язку та втрата енергії. Для максимального використання мережевих ресурсів необхідна оптимізація розташування вузлів. З іншого боку, мережа високої щільності може запровадити механізм, що захищає від несправностей, підвищити точність і забезпечити дані з роздільною здатністю. Контроль щільності мережі залежить від управління проектуванням. У цій роботі ми пропонуємо метод управління, які вузли слід відключити чи підключити до мережі. Програма управління мережею може тимчасово вивести з експлуатації вузол датчика. У нашій розробці для такої програми використана діаграма Вороного, яка розкладає простір на області навколо кожного вузла. Цю схему можна використовувати в багатьох прикладів управління бездротовою сенсорною мережею.

Велика кількість вузлів датчиків дозволяє проводити зондування в більшому географічному регіоні з більшою точністю, ніж раніше можливо. Цей тип мережі має потенціал для незліченних додатків, включаючи моніторинг погоди, безпеку та тактичний нагляд та моніторинг навколишнього середовища. Мережа бездротових сенсорів відрізняється від

інших мереж, маючи деякі унікальні характеристики. Найважливішою особливістю є необхідність бути енергоефективною мережею. Вузол датчика має остаточний запас енергії, що подається від акумулятора. Зарядити акумулятор вузла часто неможливо. Таким чином, структура бездротової сенсорної мережі повинна бути максимально ефективною.

У випадку мережі з високою щільністю вузлів датчиків можуть виникнути такі проблеми, як перетин зони зондування, надлишкові дані, перешкоди зв'язку та втрата енергії. Для максимального використання мережевих ресурсів необхідна програма управління. З іншого боку, мережа високої щільності може запровадити відмовостійкий механізм, підвищити точність і надати дані з роздільною здатністю. Контроль щільності мережі залежить від проектування мережі.

У цій роботі ми пропонуємо механізм управління щільністю мережі на основі критерію, який визначає, які вузли слід виключити чи включити. Потім ми представляємо функцію управління для вирішення цієї проблеми, яка може тимчасово вивести з ладу вузол датчика. Наше рішення засноване на діаграмі Вороного, яка розкладає простір на області навколо кожного вузла, щоб визначити, який вузол датчика слід вимкнути чи ввімкнути. Щоб оцінити наш проект, ми проводимо порівняльне моделювання. Ми оцінюємо планування роботи вузлів, що змінюють щільність мережі. Ми показуємо, що наш підхід може заощадити енергію, не втрачаючи зони зондування. Останнім часом спостерігається великий інтерес до енергоефективних бездротових сенсорних мереж. Більшість із них пов'язано з енергозберігаючими протоколами маршрутизації. В роботі [10] запропоновано LEACH як енергоефективний протокол зв'язку для бездротових сенсорних мереж. LEACH - це алгоритм маршрутизації на основі кластера, в якому голова кластера збирає дані з усіх вузлів датчиків у своєму кластері, компілює зібрані дані, виконуючи алгоритми синтезу

даних, і передає дані безпосередньо на базову станцію. Голова кластеру продовжує залишатися керівником кластера протягом періоду, який називається раундом. На початку кожного раунду кожен вузол визначає, чи може це бути головою кластера під час поточного раунду. Якщо це так, вузол повідомляє про своє рішення сусідам.

Для отримання сукупної інформації є сканування залишкової енергії. Аналогічно карті погоди або радіолокаційним знімкам повітряного руху, сенсорна мережа сканує географічний розподіл ресурсів мережі або активність поля сенсора. Замість детальної інформації про залишкову енергію на окремих датчиках, сканування забезпечує абстрактний вигляд розподілу енергетичних ресурсів. Сенсорні сканування мережі можуть бути використані, щоб допомогти керувати поступовим розгортанням датчиків, але вони не мають точності для інформування найкращого місця для додавання вузла датчика в мережу, а також кількості нових вузлів, необхідних для покриття бажаної області моніторингу.

Схема планування вузлів по черзі економить енергію, не впливаючи на надану послугу. Схема планування вузлів включає або виключає деякі вузли, і певна надмірність все ще гарантована. Вузол вирішує його вимкнути, коли виявляється, що сусіди можуть допомогти йому контролювати всю його територію. Рішення не передбачає загального знання мережі та виконується локально на кожному вузлі. Таким чином, це не гарантує оптимального рішення. Запропонована схема збільшує вартість зв'язку, вимагає синхронізації та передбачає обчислення перетину геометричного подання. Вартість розрахунку областей, визначених на площині n колами, є експоненціальною (при n колах таких областей може бути $2n$).

2.3 Системна модель для планування вузлів мережі

У цьому розділі описана системна модель, визначено схему планування вузлів, пояснюється концепцію діаграми Вороного.. Деякі приклади проілюструють ідею нашої схеми та те, чому вузли планування важливі для бездротової сенсорної мережі

На рисунку 2.3 показана модель системи, яку ми використовуємо в цій роботі. У нас є бажана область (A), яку ми хочемо контролювати, і набір N бездротових датчиків, які разом визначають область моніторингу покриття. Ця область дає частку бажаної області, яка фактично контролюється. Ми визначимо це як метрику якості обслуговування (QoS) мережі. Дані з мережі надсилаються на базову станцію.

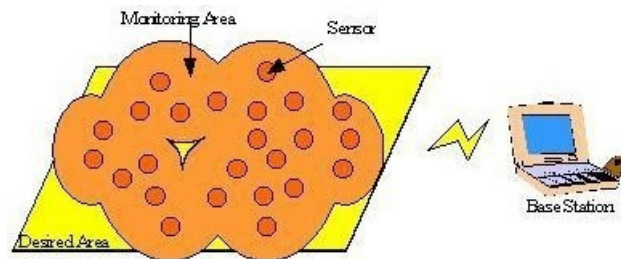


Рисунок 2.3 - Системна модель.

Щільність вузлів датчиків у мережі (ρ) є функцією кількості датчиків (N) у бажаній області (A).

Мережа бездротових сенсорів може мати від сотні до тисяч вузлів датчиків. Однак ця інформація є неповною, якщо незрозуміла щільність вузлів датчиків у мережі, тобто розподіл вузлів у середовищі моніторингу. Ми працюємо з плоскою і однорідною бездротовою мережею, розподіленою в 2-D площині поля, але ми могли б легко поширитися на n розміри. Кожен вузол нерухомий, хоча топологія мережі може бути

динамічною, оскільки вузли можуть стати недоступними постійно або тимчасово.

Кожен вузол знає своє місце розташування на площині. Положення не повинно бути глобальним, воно може бути відносно базової станції або відомої точки. Отримання надійного розташування вузла вивчалось в різних контекстах. Використовуючи систему глобального позиціонування (GPS), ми можемо визначити географічне розташування вузла з великою точністю. Іншим рішенням є наявність загальних вузлів, які обчислюють їх відстань до маяків та оцінюють їх розташування. Маяки - це спеціальні вузли, які заздалегідь знають свої координати і можуть періодично передавати сигнал, який підлягає обробці загальними вузлами.

Наш проект використовує як датчик дальності, так і радіодіапазон. Існує три можливості, як показано на рис.2.4, при розгляді діапазону датчика та радіуса дії: діапазон датчика більше, менше або дорівнює радіусу дії.

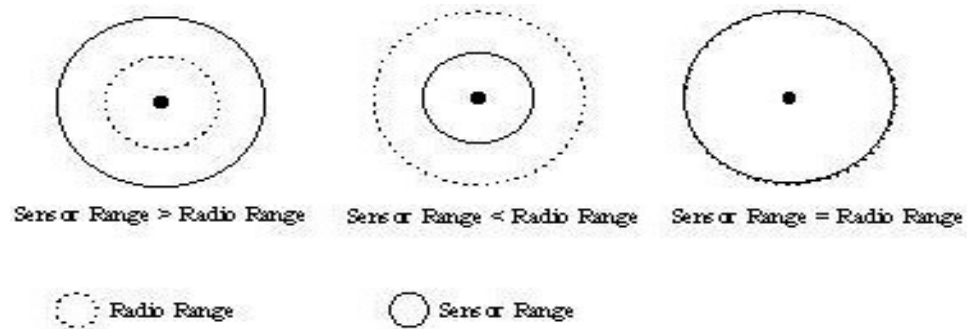


Рисунок 2.4 - Діапазони датчика та радіусу дії.

2.4 Планування розміщення вузлів.

Як зазначалося раніше, деякі проблеми можуть виникнути, якщо мережа має високу щільність вузлів датчиків. Далі ми представляємо схему управління для вирішення цієї проблеми. Програма планування може

тимчасово вивести з експлуатації вузол датчика, запланувавши вмикання та вимикання вузлів.

Припустимо, у нас є мережа з топологією, як показано на рис. 2.5 і всі вузли передають з однаковою частотою. Вузол 1 хоче передати інформацію у вузол 5 та / або вузол 2 хоче передати у вузол 3. Але якщо вузол 4 передає щось іншому вузлу, це призведе до перешкод при обох передачах, як показано на рисунку 4.5. Рішення для управління може тимчасово вимкнути вузол 4 у випадку, якщо програма моніторингу не потребує іншого вузла в тій зоні зондування, яка вже охоплена іншими вузлами.

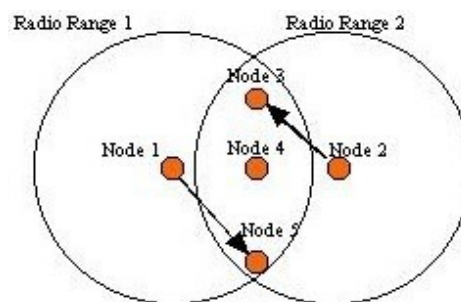


Рисунок 2.5 – Приклад топології мереж.

Рисунок 2.5 ілюструє приклад топології мережі. Плоска бездротова мережа сенсорів використовує мультистрибковий алгоритм для економії енергії та збільшення діапазону зв'язку вузла. Припустимо, вузол 1 хоче обмінюватися даними з вузлом 3. Якщо інформація повинна проходити через вузол 2, це витратить енергію та пропускну здатність та збільшить затримку. Вузол 1 може передавати безпосередньо на вузол 3. Рішення для управління може тимчасово вимкнути вузол 2. Все одно буде потрібно використовувати мультистрибковий зв'язок, якщо вузол 1 хоче зв'язатися з вузлом 4. Важливим моментом є те, що збільшення кількості стрибків не є

необхідним для економії енергії. Враховуючи топологію мережі та відстань D від вузла 1 до вузла 4, оптимальною кількістю стрибків для економії енергії є D (d_{char}), де відстань d_{char} називається характерною відстанню і не залежить від D , а залежить від обладнання трансивера. Якщо використовується інше значення, це призводить до енергетичної неефективності.

Ті самі приклади, що демонстрували радіоперешкоди, можуть бути використані для ілюстрації сенсорних перешкод. Велика кількість сенсорних вузлів у сенсорному полі робить неможливим збір надлишкової детальної інформації про стан з кожного окремого вузла датчика, враховуючи енергетичні та комунікаційні обмеження. Обрізання надмірної інформації про зондування є важливим завданням у бездротовій сенсорній мережі, яка економить енергію.

Схема планування вузлів може використовуватися для різних цілей. Тут ми представляємо дві ідеї. Коли активний вузол залишає мережу, через проблеми за енергією, наприклад, управління може активувати деякі вузли, які вимкнені. Енергія економиться, і покриття зони моніторингу не впливає на роботу. Друга мета - з причини безпеки. Вузли, які не зондують, можуть залишатися в режимі прослуховування мережі, перевіряючи, чи передають вузли те, що вони отримали, підвищуючи безпеку мережі. За необхідності вимкнений вузол стане активним вузлом. Щоб визначити, чи буде вузол вимкнено, ми будемо використовувати діаграму Вороного, яка пояснюється далі.

Нехай $S = \{p_1, p_2, \dots, p_i, \dots, p_n\}$ - множина точок у двовимірній евклідовій площині. Ці точки називаються сайтами. Діаграма Вороного розкладає простір на області навколо кожної ділянки, так що всі точки в області навколо p_i ближче до p_i , ніж будь-яка інша точка S .

$V(p_i)$ складається з усіх точок, які ближче до p_i , ніж будь-який інший сайт. Сукупність усіх сайтів утворює діаграму Вороного $V(S)$. Наступний приклад ілюструє діаграму Вороного. На рисунку 2.6 показана множина вхідних вузлів, для яких будується діаграма Вороного (рисунок 2.7)

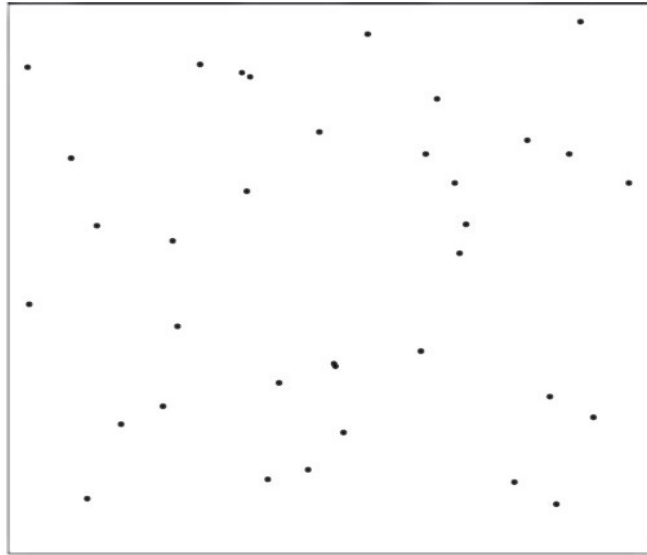


Рисунок 2.6 – Точки входу

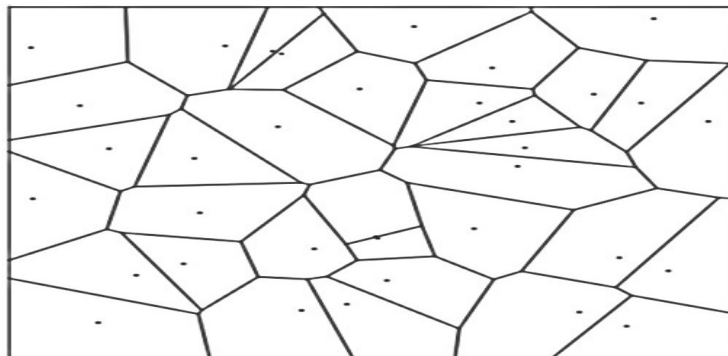


Рисунок 2.7 – Діаграма Вороного

Алгоритми побудови діаграми

Існує 4 алгоритма побудови діаграми Вороного:

– алгоритм побудови діаграми Вороного «в лоб». Складність: $O(n^4)$;

– алгоритм побудови діаграми Вороного шляхом перетину напівплощин
складність: $O(n^2 \cdot \log(n))$;

– алгоритм Форчун побудови діаграми Вороного на площині.

Складність: $O(n \cdot \log(n))$;

– рекурсивний алгоритм побудови діаграми Вороного. Складність:
 $O(n \cdot \log(n))$.

2.5 Алгоритм побудови діаграми Вороного шляхом перетину напівплощин

Виконаємо об'єднання даних множин та їх діаграм наступним чином:

1. Для кожного з підмножин знайдемо опуклу оболонку (побудова опуклої оболонки для кожної з множин можна виконувати всі тим же 'поділяй і пануй': тобто, на кожному кроці об'єднання діаграм Вороного ми об'єднуємо і опуклі оболонки даних множин за $O(N)$).

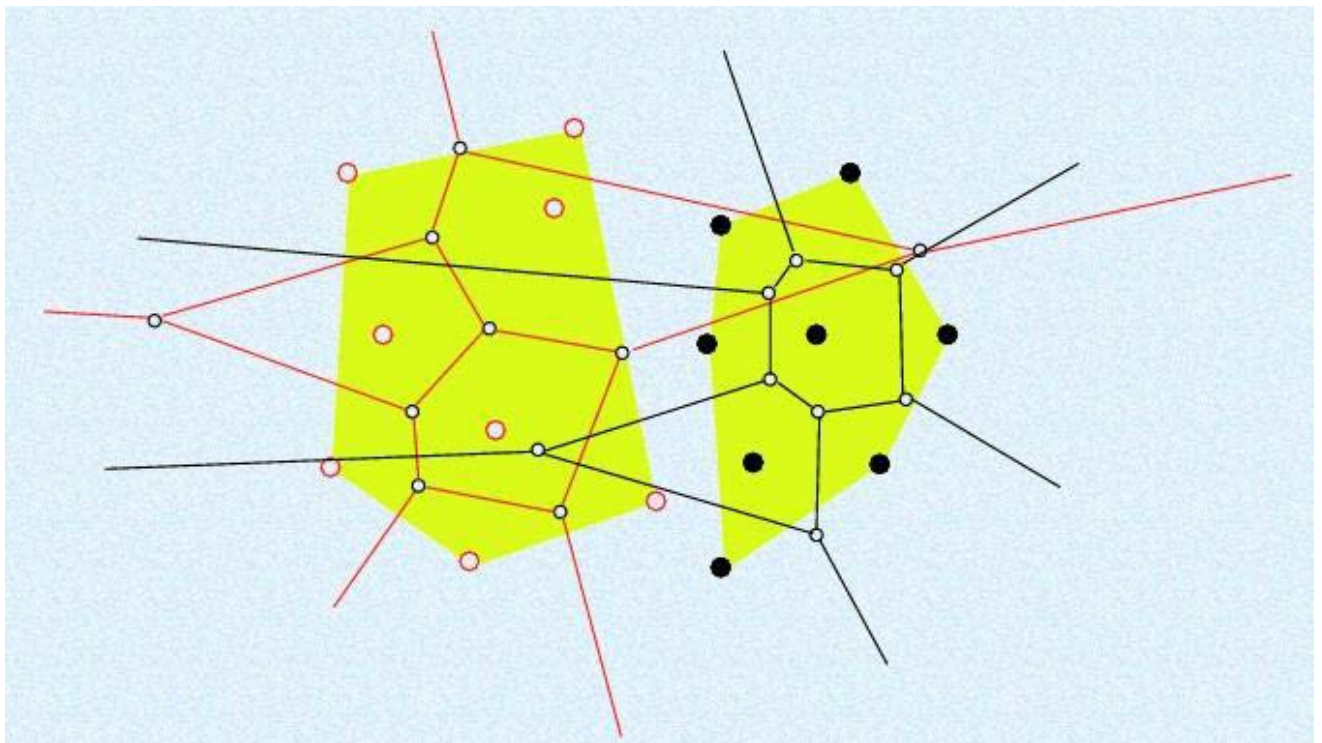


Рисунок 2.8 – Побудова діаграми Вороного

На рисунку 2.8 показано початкову множину точок, де червоні точки - це точки першої множини, а чорні - другої. Для кожної множини побудована опукла оболонка, яка зафарбована зеленим кольором. Для першої множини діаграма Вороного червона, для другої – чорна [11].

2. Тепер, коли є дві опуклі оболонки вихідних множин, знайдемо верхню і нижню кордону даних множин: тобто, ми повинні знайти два таких відрізка, які об'єднують дві дані опуклі оболонки в одну (звісно, опуклу). Таким чином ми виконаємо умови кроку 1, а також отримаємо значення, що ініціалізує, для кроку

3. Даний крок можна виконати за $O(N)$.

З отриманих відрізків на кроці 2, виберемо будь-який і позначимо за L (останній, що залишився, позначимо за Q), і через його середину, перпендикулярно пускаємо безкінечний промінь. Уявімо, що даний промінь тільки входить у початкову множину, і знайдемо його перетин з комірками діаграм Вороного початкових множин (вважається, що промінь тягнеться вперед, тобто у нього є напрям). Ми перетинаємо промінь тільки з тими комірками Вороного, центрами яких є кінці відрізка, перпендикулярно яким ми пускаємо промінь. Нам потрібно знайти точки перетину даного променя з відповідними осередками Вороного і вибрати серед них ту, що перетинається раніше. Позначимо цю точку за M , а комірку, яку ми перетнули, запам'ятаємо і позначимо V . Кінець відрізка L , що є центром для комірки Вороного, яка не перетиналася, залишаємо в спокої, а ось той, що був центром комірки, яку перетнули - оновлюємо: перетнули одну зі сторін комірки Вороного, тоді новим кінцем відрізка L стане центр комірки Вороного, суміжної по цій стороні з коміркою, яка була перетнута. У спеціальну множину S (в ній зберігається межа двох Діаграм Вороного) треба додати ту частину променя, яка простягається до перетину зі стороною комірки. Повторюємо крок 3 до тих пір, поки значення кінців відрізка L не стануть дорівнювати значенням

кінців відрізка Q . В результаті, в множині S виявиться безперервний ламаний промінь.

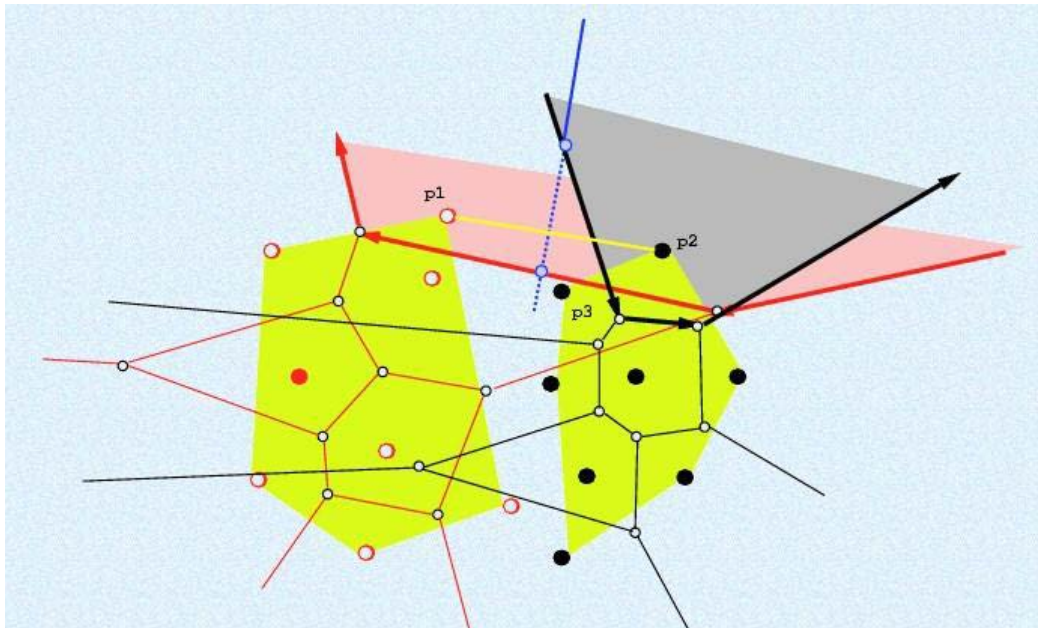


Рисунок 2.9 – Побудова діаграми Вороного

Знайшли верхню межу $[p_1p_2]$. Синім кольором позначено промінь, що проходить через середину $[p_1p_2]$ під прямим кутом. Знайшли перетини з комірками Вороного лівої та правої множини. Синій суцільний промінь – те, що розміщуємо в S . 47

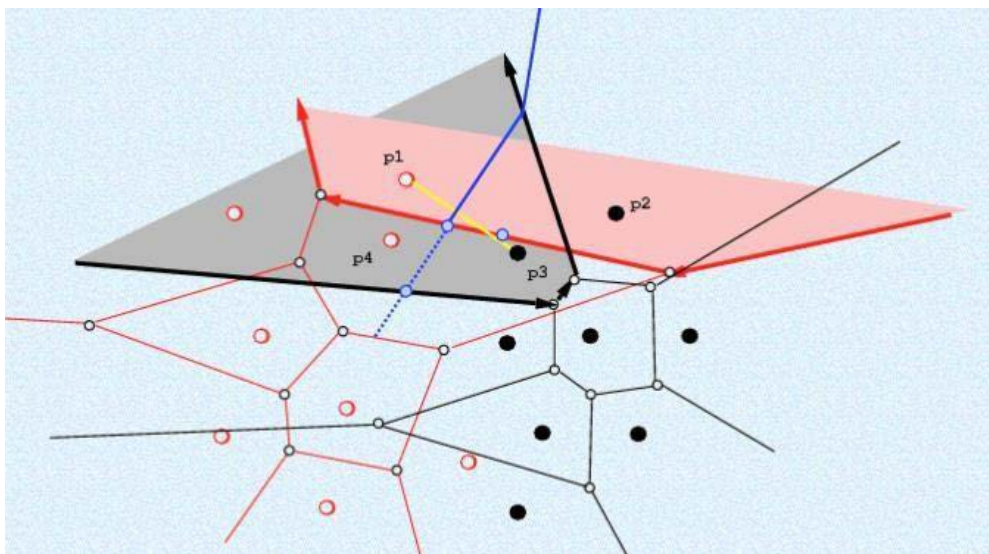


Рисунок 2.10 – Побудова діаграми Вороного

Оновили один із кінців відрізка p_1p_2 (нове розміщення – центр суміжної комірки Вороного, що перетнули, правої множини точок). Знову будуємо промінь, що проходить перпендикулярно через центр p_1p_2 . Фіксуємо точки перетину з комірками Вороного.

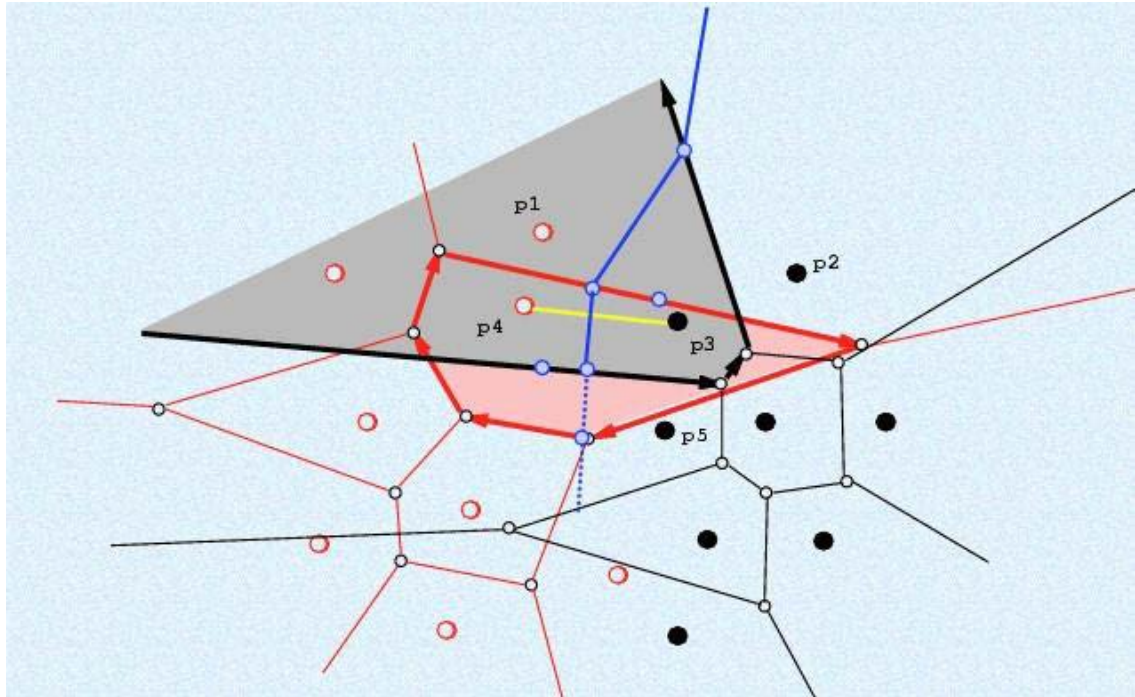


Рисунок 2.11 – Побудова діаграми Вороного

Аналогічно рисунку 2.11 оновлюємо один із кінців відрізка, будуємо промінь далі.

Отримаємо множину S , яка представляє собою безперервний ламаний промінь. Цей промінь є кордоном, що з'єднує діаграми Вороного двох множин. Для отримання фінального результату, потрібно для діаграми Вороного лівої множини затерти ті відрізки що знаходяться праворуч від отриманого променя, а для діаграми Вороного правої множини 'затерти' ті, що зліва. Зробити це швидко не проблема: коли комірка перетинається променем, то зрозуміло, що спочатку промінь буде в неї входити, а потім, в якийсь певний момент – вийде. Потрібно відловити ці події, і в залежності від того, з діаграмою якої множини працюємо (лівою або правою), видалити лівий чи правий ланцюг ребер комірки Вороного, яку була перетнута променем, і додати туди потрібну частину з множини S .

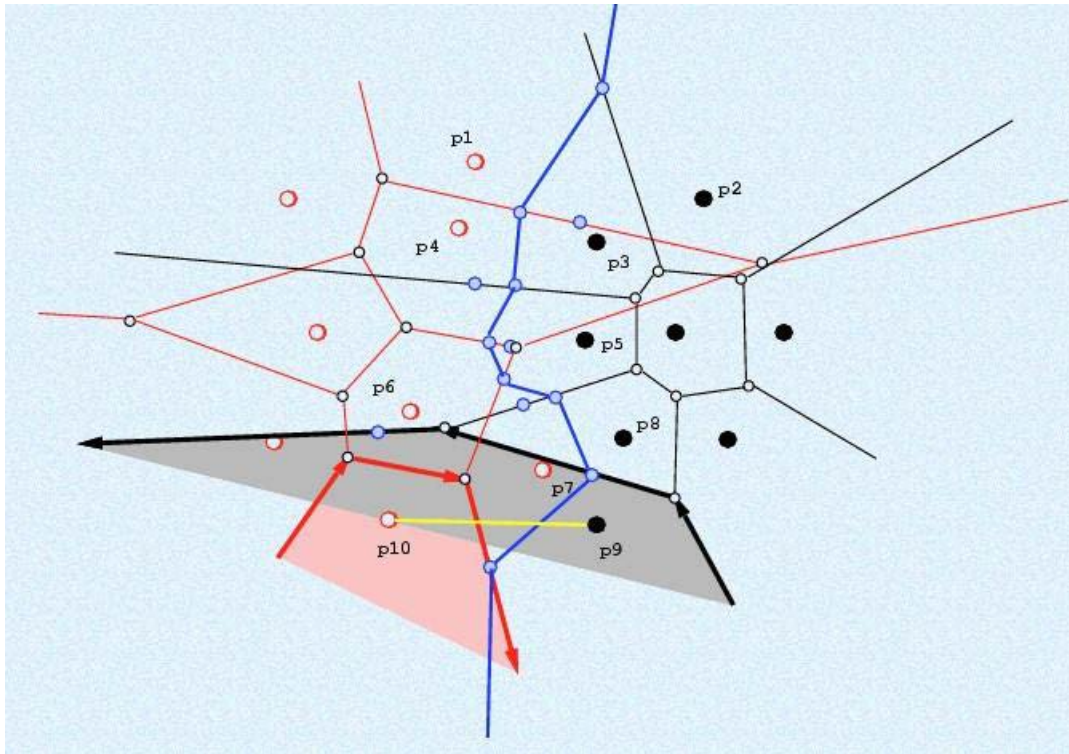


Рисунок 2.12 – Побудова діаграми Вороного

На рисунку 2.13 показаний фінальний результат. Кінці відрізка співпадають з нижньою межею, що значить треба завершити побудову межі між двома діаграми Вороного [12].

Важливо відзначити, що якщо точки мають однакову координату X , то варто їх сортувати по координаті Y , таким чином, щоб рівномірно і послідовно їх розділити [5].

3 РОЗРАХУНОК СЕНСОРНИХ МЕРЕЖ З ВИКОРИСТАННЯМ НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

3.1 Особливості сенсорних мереж та використання нечіткої логіки для їх проектування

Бездротові сенсорні мережі використовуються для моніторингу навколишнього середовища, а також для контролю показників сенсорів у мережах віддаленого моніторингу та керування. Запропоновано метод кластеризації бездротової сенсорної мережі на основі нечіткої логіки з використанням як параметрів відстані до координатора та залишкової енергії. З використанням моделювання доведено, що запропонований метод дає суттєвий виграв за тривалістю життєвого циклу та періоду стабільності БСМ, а також щодо залишкової енергії та пропускної спроможності мережі.

Нині розвиток мереж зв'язку складає основі концепції Інтернету Речей [11–15]. Технологічною базою для реалізації концепції Інтернету Речей є всепроникні сенсорні мережі [16]. Кластеризація є ефективним способом збільшення життєвого циклу та зменшення енергоспоживання для БСМ [7, 8].

Бездротові сенсорні мережі (БСМ) [1, 12, 9] є мережами сенсорних вузлів, розташованих або в безпосередній околиці зони контролю, або всередині цієї зони, і взаємодіючих між собою і з центральним координуючим вузлом за допомогою бездротової зв'язку, як правило, на основі стандарту IEEE 802.15.4 [1, 2, 13, 15].

БСМ характеризуються такими особливостями:

- дуже низька потужність передачі як для забезпечення сумісності з іншим обладнанням, так і для зниження споживання енергії;
- відносно висока швидкість передачі даних з метою забезпечення необхідних параметрів якості обслуговування;
- низька вартість, невелика складність та незначні відстані(сотні метрів) для розміщення на території, що контролюється[10].

Сенсори в БСМ є гетерогенними для того, щоб інтегрувати будь-які можливості в мережі моніторингу та контролю. Тип та кількість сенсорів відрізняються від одного об'єкта до іншого залежно від стану навколишнього середовища. Найбільш поширеними типами сенсорів є сенсори вуглекислого CO₂ для визначення концентрації вуглекислого газу у повітрі, сенсори температури, сенсори рівня вологості. Крім того, досить часто використовуються сенсори для вимірювання показників мікроклімату та обладнання у приміщеннях, та будівлях для автоматизації процесів регулювання показників мікроклімату тощо [10, 11, 14].

Бездротові сенсорні мережі мають великий потенціал для революційного перетворення майбутніх екологічних та енергозберігаючих технологій. БСМ відповідно до стандарту IEEE 802.15.4 [1, 2] підтримують не тільки велику область сенсорів, але можуть використовуватись і для інших додатків.

Архітектура БСМ складається з сенсорних вузлів, координатора та каналів зв'язку для передачі зібраної інформації бездротовою мережею, а далі через Інтернет/NGN інформація передається до центрів моніторингу, управління тощо [15].

Класифікація вузлів у БСМ на основі їхньої ролі в мережі виглядає наступним чином [1, 11, 14]:

Координатор – цей вузол забезпечує взаємодію БСМ зі шлюзом до зовнішнього світу, інший БСМ, центр управління і т. п. Всі інші вузли БСМ можуть спілкуватися через координатор.

Сенсори – сенсорні вузли БСМ, призначені для внутрішніх чи зовнішніх вимірювань певних параметрів і передачі даних у мережу.

Деякі існуючі типи сенсорів можуть бути використані в наручному годиннику, мобільних терміналах, і, отже, дозволяють забезпечити бездротовий моніторинг показників в будь-якому місці і в будь-який час. Різні види сенсорів можуть бути прикріплені до внутрішніх або розміщені на

зовнішній стороні будівель та споруд. Користувач не повинен, перевіряти показники кожного сенсора, якщо вони оснащені вузлами БСМ.

Бездротові сенсорні вузли збирають інформацію про показники навколишнього середовища, щоб передати її через координатор у мережу та зберегти необхідну інформацію в центрі обробки даних.

Відомо, що кластеризація є ефективним методом для побудови сенсорних мереж. Далі розглянемо можливості застосування кластеризації для БСМ та порівняємо ефективність її застосування у порівнянні з існуючою архітектурою побудови БСМ.

Кластеризація бездротової сенсорної мережі.

Розглянемо дві архітектури побудови БСМ [12, 16]. У першому випадку можливе використання передачі на один крок (*one-hop*), тоді як у другому – на безліч кроків (*multi-hop*).

Архітектура зірка (*one-hop*)

В архітектурі зірка сенсорний вузол повинен використовувати високу потужність передачі сигналу, оскільки координатор може бути розташований досить далеко. Таким чином, життєвий цикл сенсорів стає коротшим, і кожен сенсор викликає перешкоди для інших сенсорів у своїй галузі.

Кластерна архітектура (*multiple hops*)

Оскільки кожен сенсор передає сигнал сусідньому сенсору (головному вузлу кластера), потужність передачі та зона передачі досить малі. Таким чином, залишкова енергія та життєвий цикл мережі мають збільшитись у порівнянні з архітектурою зірка. Крім того, сенсор може передати інформацію координатору через інший головний вузол, який також підключений до координатора.

Для кластеризації БСМ використовуємо метод нечіткої логіки. Як радіо моделі використовуємо типову модель для БСМ, запропоновану в [13]:

$$\begin{aligned}
 E_{Tx}(k, d) &= E_{Tx-elec}(k) + E_{Tx-amp}(k, d) \\
 E_{Tx}(k, d) &= E_{Tx-elec} \times k + E_{amp} \times k \times d^2
 \end{aligned}
 \tag{3.1}$$

$$\begin{aligned}
 E_{Rx}(k) &= E_{Rx-elec}(k) + E_{Rx}(k) \\
 E_{Rx}(k) &= E_{Rx-elec} \times k
 \end{aligned}
 \tag{3.2}$$

де E_{Tx} - енергія, що витрачається на передачу;

E_{Rx} - енергія, що споживається при прийомі;

$E_{Tx-elec}$ та $E_{Rx-elec}$ – енергії, необхідні для роботи електронної схеми передавача та приймача, відповідно;

E_{amp} – енергія, необхідна схеми підсилювача;

k – розмір пакета;

d – відстань між передавачем та приймачем.

Припустимо далі:

– Розподіл сенсорних вузлів на території зони контролю здійснюється у фіксованих місцях.

– Розміщення координатора здійснюється на біля геометричного центру.

– Усі сенсорні вузли гетерогенні та мають однакову початкову енергію.

У розробленому методі формування кластера здійснюється так: сенсорне поле (об'єкт моніторингу) поділяється на 2 логічні області (перша область 0–100 м та друга область 100–200м). У кожному раунді вибір головного вузла кластера здійснюється на основі методу нечіткої логіки. Після вибору головного вузла кластера у кожному кластері обчислюється відстань між сенсорними вузлами та головним вузлом кластера з використанням формули (3.3):

$$d(S_j, C_j) = \sum_{i=1}^m \sqrt{(S_j, C_j)^2}
 \tag{3.3}$$

де S_i – сенсорний вузол i у кластері ($i = 1, \dots, m$) та C_j – головний вузол j кластера ($j = 1, \dots, k$).

Відстань між координатором та головними вузлами обчислюється з використанням формули (3.4):

$$d(\text{Coordinator}, \text{CH}) = \sqrt{(x_{\text{CH}} - x_{\text{coor}})^2 + (y_{\text{CH}} - y_{\text{coor}})^2}, \quad (4)$$

де x_{CH} і x_{coor} – координата головного вузла та координатора по осі x ; y_{CH} та y_{coor} – координата головного вузла та координатора по осі y .

3.2 Вибір головного вузла кластера на основі нечіткої логіки

У розробленому методі використовуються два параметри для вибору головного вузла кластера в БСМ: залишкова енергія та відстань до координатора. Залишкова енергія та відстань до координатора оцінюються на основі методів нечіткої логіки. Контролер нечіткої логіки FLC (Fuzzy Logic Controller) складається з наступних компонентів (рис. 3.1): блоку фазифікації, бази правил, блоку нечіткого вивід та блоку дефазифікації [18].

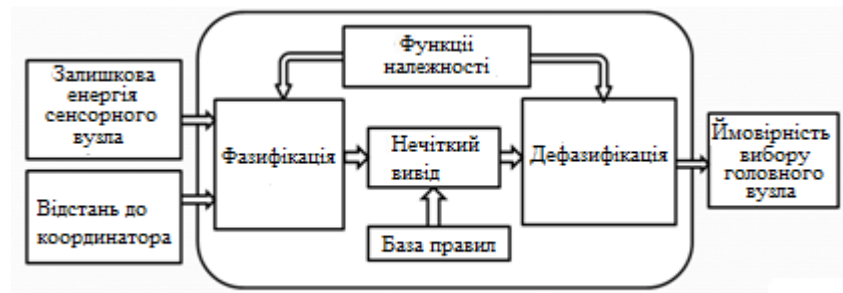


Рисунок 3.1 - Контролер нечіткої логіки вибору головного вузла

Розглянемо роботу цього методу докладніше. Від усіх сенсорних вузлів на вхід контролера нечіткої логіки надходять дані про стан кожного сенсорного вузла.

Перший етап: Фазифікація – процес перетворює точні значення вхідних змінних значення лінгвістичних (нечітких) змінних за допомогою застосування певних функцій приналежності. У таблиці 3.1 показані вхідні та вихідні змінні, а також їх нечіткі значення.

Таблиця 3.1 – Вхідні і вихідні змінні і їх значення

Змінні системи		Лінгвістичні змінні	Лінгвістичні значення	Нечіткі інтервали
Вхідні змінні	x_1	Залишкова енергія [0-0,5] Дж	Мала	0-0,25
			Середня	0,15-0,35
			Висока	0,25-0,5
	x_2	Відстань до координатора [0-100] см	Близька	0-60
			Середня	40-80
			дальня	70-100
Вихідні змінні	y	Імовірність вибору головного вузла [0-100] %	Дуже мала	0-15
			Мала	5-25
			Більше малої	15-35
			Менше середньої	25-45
			Середня	35-65
			Більше середньої	55-75
			Невелика	65-85
			Велика	75-95
			Дуже велика	85-100

На основі таблиці 3.1 для нечітких множин зазначених параметрів, використовуючи програмне забезпечення MatLab [17–20], можна отримати функції належності. Як функції приладдя для кожного терму всіх лінгвістичних змінних вибираємо трикутні функції належності. Після визначення функції приналежності та вхідних параметрів необхідно визначити базу правил для відповідних параметрів.

Другий етап: База правил, іноді звана лінгвістичною моделлю, являє собою безліч нечітких правил R_k , $k = 1, \dots, N$ виду:

$$R^k: \text{ЯКЩО} (x_1 \text{ це } A_1^k \text{ I } x_2 \text{ це } A_2^k \dots \text{ I } x_n \text{ це } A_n^k), \\ \text{ТОДІ} (y_1 \text{ це } B_1^k \text{ I } y_2 \text{ це } B_2^k \dots \text{ I } y_n \text{ це } B_n^k) \quad (3.5)$$

де n – кількість нечітких правил;

A_k – нечіткі множини $A_k \subseteq X_i \subset R$, $i = 1, \dots, n$. У таблиці 3.2 поки-і і

ні правила нечіткого висновку.

Таблиця 3.2 – Правила нечіткого виводу

№ правила	(якщо) Залишкова енергія	(І) Відстань до координатора	(тоді) Імовірність вибору головного вузла
1	мала	дальня	дуже мала
2	мала	середня	мала
3	мала	близька	більше малої
4	середня	дальня	менше середньої
5	середня	середня	середня
6	середня	близька	більше середньої
7	висока	дальня	невелика
8	висока	середня	велика
9	висока	близька	дуже велика

Третій етап: як правило для блоку нечіткого висновку використовуватимемо правило Мамдані (3.6):

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \mu_R(x, y) = \mu_A(x) \cap \mu_B(y) = \min[\mu_A(x), \mu_B(y)], \quad (3.6)$$

де A і B – нечіткі множини $A \subseteq X$, $B \subseteq Y$, відношення R визначено на $X * Y$.

В результаті отримуємо, що (3.7):

$$\mu_{B'}(y) = \max_{k=1 \dots N} \left\{ \min \left[\mu_{A_1^k}(\bar{x}_1), \mu_{A_2^k}(\bar{x}_2), \mu_{B_1^k}(\bar{y}), \right] \right\} \quad (3.7)$$

де x_1 і x_2 – відповідно вхідні параметри (залишкова енергія сенсорного вузла та відстань до координатора);

A_1^k і A_2^k - відповідні їм нечіткі множини;

$k=1, \dots, N$ – правила нечіткого виведення, N – кількість правил нечіткого виводу ($N = 32 = 9$);

y – вихідний параметр (імовірність вибору головного вузла);

B_1^k - відповідна їй множина.

Відповідно до отриманої бази правил можна виконати операцію нечіткого висновку. Як висновок для кожного правила використовується лінгвістична змінна «імовірність вибору головного вузла» y , безліч значень якої складається з дев'яти термів: «дуже мала», «мала», «менша», «менша за середню», «середня», «більша за середню», «невелика», «велика» і «дуже велика».

Четвертий етап: Значення ймовірності вибору головного вузла одержується внаслідок операції дефазифікації вихідного нечіткого висновку. Дефазифікацію вихідного значення контролера (значення ймовірності вибору головного вузла) будемо проводити за методом центру тяжіння, використовуючи формулу (8):

$$\bar{y} = \left(\sum_{k=1}^N a_k \int_y \mu_{B^k}(y) dy \right) / \left(\sum_{k=1}^N \int_y \mu_{B^k}(y) dy \right) \quad (3.8)$$

де $\mu_{B^k}(y)$ – функція належності правила вихідної нечіткої множини k -го правила бази правил, $k=1, \dots, n$; y – точкою, в якій ця функція приналежності набуває значення 1.

Результат застосування правил нечіткого висновку для вибору головного вузла наведено на рисунку 3.2.

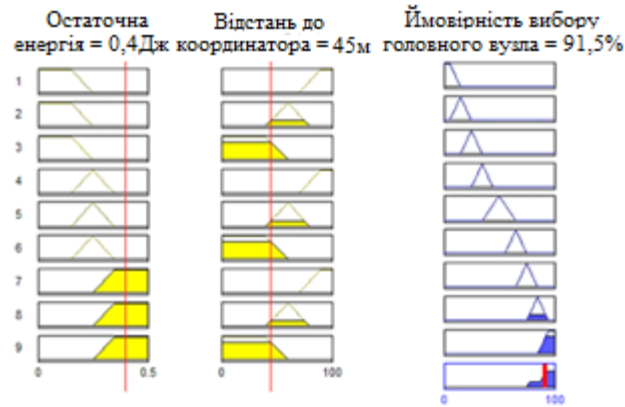


Рисунок 3.2 – Результат використання правил нечіткого виводу для вибору головного вузла

Як приклад використання розглянутого методу можна навести наступний: Якщо (залишкова енергія сенсорного вузла – висока) І (відстань до координатора – близька), Тоді (ймовірність вибору головного вузла – дуже велика).

Запропонований метод ефективно використаний для вибору головного вузла кластера в БСМ, як показують результати моделювання на рис. 3.3а та 3.3б, а також на рисунку 3.4.

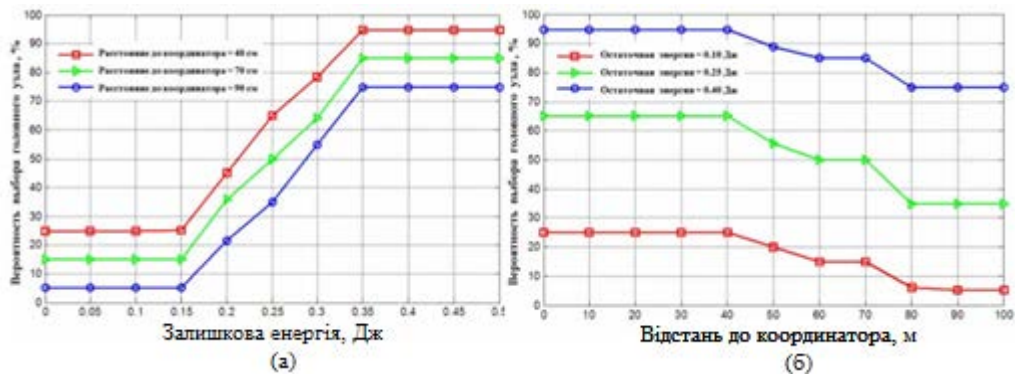


Рисунок 3.4 – Залежність ймовірності вибору головного вузла

(а) – від залишкової енергії при 40, 70 та 90 м відстаней до координатора, (б) – від відстані до координатора при 0.10, 0.25 та 0.40 Дж залишкової енергії

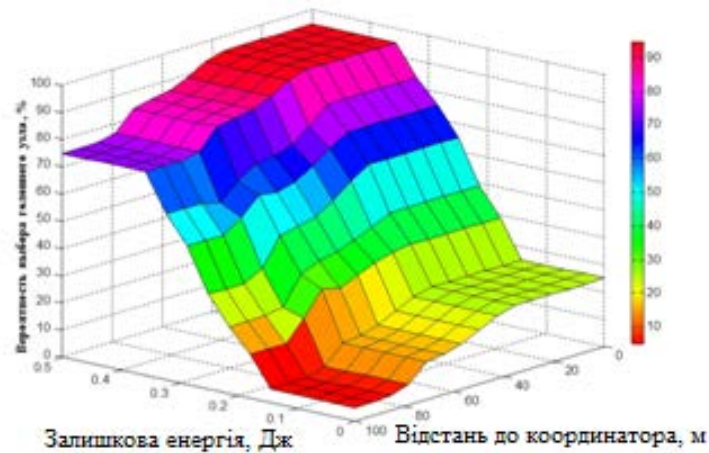


Рисунок 3.5 - Залежність ймовірності вибору головного вузла від залишкової енергії та відстані до координатора

3.3 Перевірка результатів роботи запропонованого методу

У цьому розділі наведено результати моделювання, які виконані в середовищі MatLab. Параметри та їх значення для моделювання наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Параметри та їх значення для моделювання

Тип	Параметр	Значення
Технологія мережі	Кількість сенсорних вузлів (n)	10
	Ймовірність вибору головних вузлів (P_{opt})	0,2
	Покриття мережі	(0,0) (100, 200) см
	Довжина зони контролю датчиків	180м
	Ширина зони контролю	60 м
	Розташування координатора	(45,110) м
Радіомодель мережі	Первинна енергія на вузол (E_0)	0.5 Дж
	Енергія для агрегування даних (E_{DA})	5 мкДж/біт
	Енергія передачі ($E_{tx-elec}$)	16,7 мкДж/біт
	Енергія приймання ($E_{rx-elec}$)	36,1 нДж/біт
	Мультимережева стала (E_{amp})	1,97 нДж/біт/м ²
	Розмір пакету даних (k)	4000 біт

Як модель мережі використовується модель з 10 вузлів, розподілених на фіксованих місцях на об'єкті моніторингу 600*180 мм, як показано на рисунку 3.5а. Після того, як вузли розподілені, відбувається перехід до формування

кластерів та вибору головного вузла кластера на основі нечіткої логіки. Архітектура зірка та кластерна архітектура показані на рисунках 3.5а, 3.5б та 3.5в відповідно.

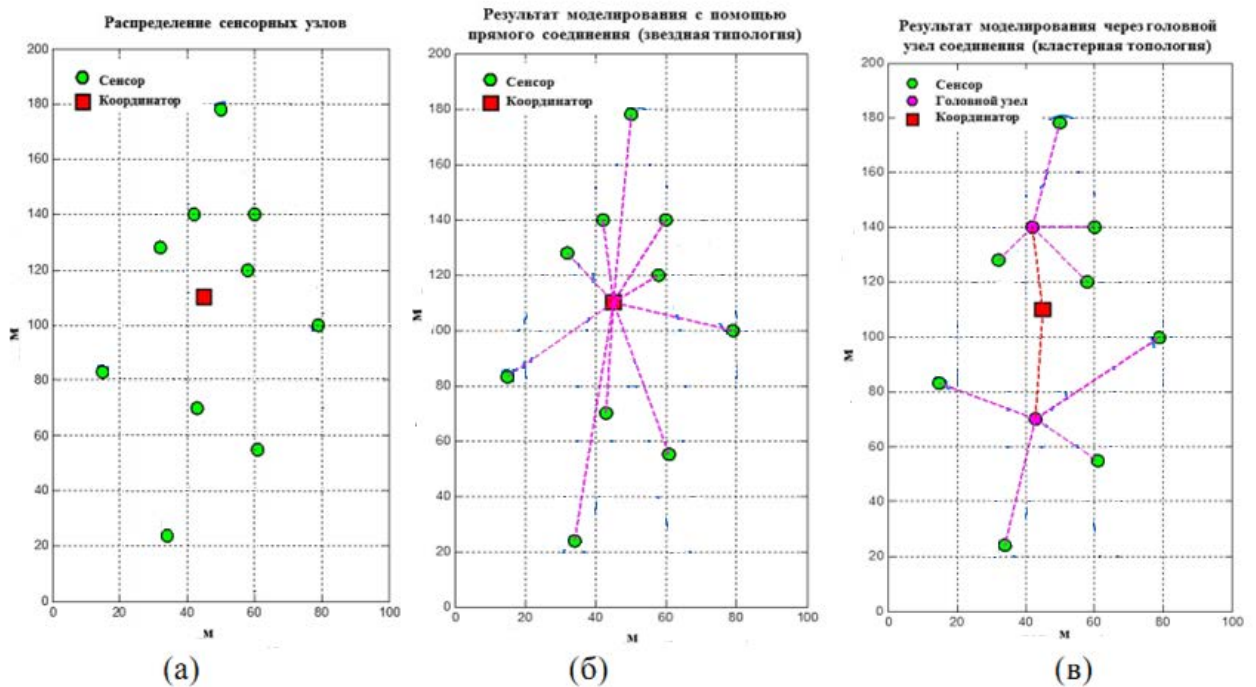


Рисунок 3.5 – Результати моделювання в середовищі MatLab

Для того щоб оцінити ефективність запропонованого методу кластерної топології, використовуємо для порівняння наступні метрики: період стабільності мережі, життєвий цикл мережі, залишкову енергію та пропускну здатність мережі:

1) Життєвий цикл мережі є загальним часом роботи мережі до загибелі останнього вузла.

2) Періодом стабільності мережі є проміжок часу роботи мережі до загибелі першого вузла. Період часу після моменту загибелі першого вузла до моменту загибелі останнього вузла називається періодом нестабільності.

3) Пропускна здатність мережі є загальною кількістю пакетів, успішно отриманих на координаторі.

4) Залишкова енергія сенсорних вузлів.

На рисунках 3.6, 3.7, 3.8 показано результати моделювання для порівняння запропонованого методу кластеризації з архітектурою зірка.

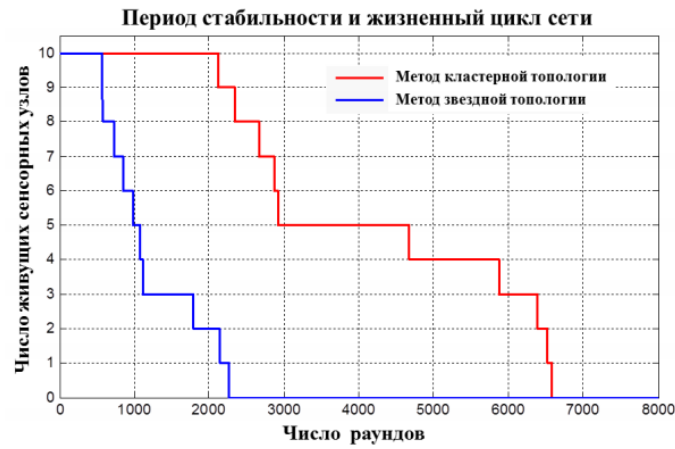


Рисунок 3.6 – Залежність числа активних вузлів від числа раундів

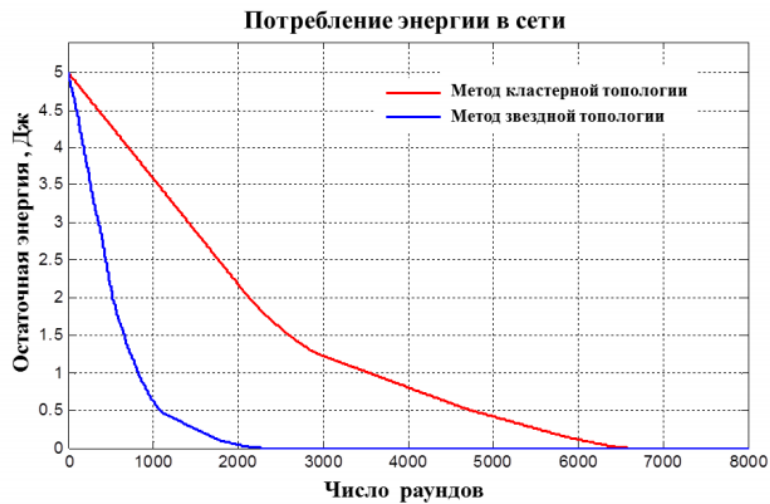


Рисунок 3.7 – Залежність залишкової енергії від числа раундів

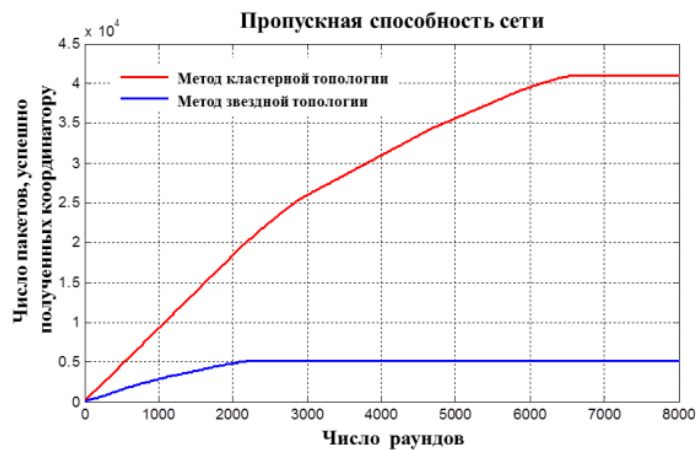


Рисунок 3.8 – Залежність ьчисла пакетів успішно прийнятих координатором від числа раундів

На рисунку 3.9 показано число раундів до загибелі першого сенсорного вузла та останнього вузла запропонованого методу кластерної топології в порівнянні з методом зіркової топології. Загиблим вважається сенсорний вузол, який вичерпав свою енергію.

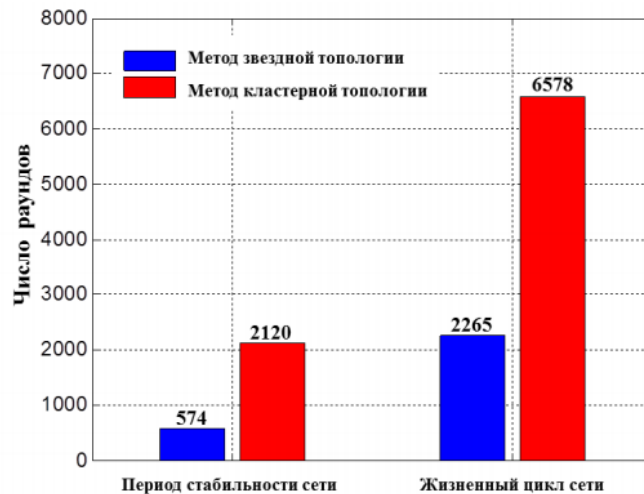


Рисунок 3.9 – Кількість раундів до відімкнення першого і останнього вузла

Висновки до 3 розділу

1. У розділі запропоновано новий метод вибору головного вузла кластера в БНСС, який використовує як параметри нечіткого вибору відстань до координатора та залишкову енергію. Ухвалення рішення про вибір головного вузла здійснюється методами нечіткої логіки з використанням правила Мамдані та методу центру тяжкості для дефазифікації.

2. Результати моделювання довели, що запропонований метод кластеризації дозволяє суттєво збільшити період стабільності (близько трьох разів) та життєвий цикл БНСС (близько двох разів) у порівнянні з архітектурою зірка. Крім того, забезпечується зменшення енергоспоживання в мережі та збільшення пропускної спроможності.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Виконання науково-дослідної роботи завжди передбачає отримання певних результатів і вимагає відповідних витрат. Результати виконаної роботи завжди дають нам нові знання, які в подальшому можуть бути використані для удосконалення та/або розробки (побудови) нових, більш продуктивних зразків техніки, процесів та програмного забезпечення.

Дослідження на тему «Підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування» може бути віднесено до фундаментальних і пошукових наукових досліджень і спрямоване на вирішення наукових проблем, пов'язаних з практичним застосуванням. Основою таких досліджень є науковий ефект, який виражається в отриманні наукових результатів, які збільшують обсяг знань про природу, техніку та суспільство, які розвивають теоретичну базу в тому чи іншому науковому напрямку, що дозволяє виявити нові закономірності, які можуть використовуватися на практиці.

Для цього випадку виконаємо такі етапи робіт:

- 1) здійснимо проведення наукового аудиту досліджень, тобто встановлення їх наукового рівня та значимості;
- 2) проведемо планування витрат на проведення наукових досліджень;
- 3) здійснимо розрахунок рівня важливості наукового дослідження та перспективності, визначимо ефективність наукових досліджень.

4.1 Оцінювання наукового ефекту

Основними ознаками наукового ефекту науково-дослідної роботи є новизна роботи, рівень її теоретичного опрацювання, перспективність, рівень розповсюдження результатів, можливість реалізації. Науковий ефект НДР на тему «Підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого

моніторингу та керування» можна охарактеризувати двома показниками: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного опрацювання.

Значення показників ступеня новизни і рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи в балах наведені в табл. 4.1 та 4.2.

Таблиця 4.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи виставлені експертами

Ступінь новизни	Характеристика ступеня новизни	Значення ступеня новизни, бали		
		Експерти (ПІБ, посада)		
		1	2	3
Принципово нова	Робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження. Результати дослідження відкривають новий напрям в даній галузі науки і техніки. Отримані принципово нові факти, закономірності; розроблена нова теорія. Створено принципово новий пристрій, спосіб, метод	0	0	0
Нова	Отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних значень (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту). Проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів	55	60	58

Відносно нова	Робота має елементи новизни в постановці задачі і методах дослідження. Результати дослідження систематизують і узагальнюють наявну інформацію, визначають шляхи подальших досліджень; вперше знайдено зв'язок (або знайдено новий зв'язок) між явищами. В принципі відомі положення розповсюджені на велику кількість об'єктів, в результаті чого знайдено ефективне рішення. Розроблені більш прості способи для досягнення відомих результатів. Проведена часткова раціональна модифікація (з ознаками новизни)	0	0	0
Традиційна	Робота виконана за традиційною методикою. Результати дослідження мають інформаційний характер. Підтверджені або поставлені під сумнів відомі факти та твердження, які потребують перевірки. Знайдено новий варіант рішення, який не дає суттєвих переваг в порівнянні з існуючим	0	0	0
Не нова	Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі, та не був відомий авторам	0	0	0
Середнє значення балів експертів		57,7		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів ступінь новизни характеризується як нова, тобто отримана нова інформація, яка суттєво

зменшує невизначеність наявних знань (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту) та проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів.

Таблиця 4.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи виставлені експертами

Характеристика рівня теоретичного опрацювання	Значення показника рівня теоретичного опрацювання, бали		
	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
Відкриття закону, розробка теорії	0	0	0
Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу	66	69	65
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	0	0	0
Елементарний аналіз зв'язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	0	0	0
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	0	0	0
Середнє значення балів експертів	66,7		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів рівень теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи характеризується як глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків,

взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу.

Показник, який характеризує рівень наукового ефекту, визначаємо за формулою [20]:

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}}, \quad (4.1)$$

де $k_{\text{нов}}, k_{\text{теор}}$ - показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи, $k_{\text{нов}} = 57,7, k_{\text{теор}} = 66,7$ балів;

$0,6$ та $0,4$ – питома вага (значимість) показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи.

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}} = 0,6 \cdot 57,7 + 0,4 \cdot 66,67 = 61,27 \text{ балів.}$$

Визначення характеристики показника $E_{\text{нау}}$ проводиться на основі висновків експертів виходячи з граничних значень, які наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Граничні значення показника наукового ефекту

Досягнутий рівень показника	Кількість балів
Високий	70...100
Середній	50...69
Достатній	15...49
Низький (помилкові дослідження)	1...14

Відповідно до визначеного рівня наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування», даний рівень становить 61,27 балів і відповідає статусу - середній рівень. Тобто у даному випадку можна вести мову про потенційну фактичну ефективність науково-дослідної роботи.

4.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

4.2.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми, обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [20]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (4.2)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=21$ дні.

$$Z_o = 17500,00 \cdot 40 / 21 = 33333,33 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.4 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий	Оплата за робочий	Число днів роботи	Витрати на заробітну

	оклад, грн	день, грн		плату, грн
Керівник проекту	17500,00	833,33	40	33333,33
Інженер-розробник телекомунікаційних мереж 1-ї категорії	16850,00	802,38	38	30490,48
Консультант (дослідник систем віддаленого моніторингу та керування)	15280,00	727,62	5	3638,10
Технік	7550,00	359,52	20	7190,48
Всього				74652,38

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування» розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.3)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (4.4)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), приймемо $M_M=6700,00$ грн;

K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [20];

K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

T_p – середнє число робочих днів в місяці, приблизно $T_p = 21$ дн;

$t_{зм}$ – тривалість зміни, год.

$$C_l = 6700,00 \cdot 1,10 \cdot 1,65 / (21 \cdot 8) = 72,38 \text{ грн.}$$

$$Z_{pl} = 72,38 \cdot 8,50 = 615,26 \text{ грн.}$$

Таблиця 4.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
Підготовка робочого місця розробника телекомунікаційних мереж	8,50	2	1,10	72,38	615,26
Інсталяція програмного забезпечення середовища розробки і моделювання	5,60	3	1,35	88,83	497,48
Компіляція програмних блоків моделювання	5,00	5	1,70	111,87	559,33

Всього	1672,07
--------	---------

Додаткова заробітна плата дослідників та робітників

Додаткову заробітну плату розраховуємо як 10 ... 12% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$Z_{\text{доп}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{доп}}}{100\%}, \quad (4.5)$$

де $H_{\text{доп}}$ – норма нарахування додаткової заробітної плати. Прийmemo 11%.

$$Z_{\text{доп}} = (74652,38 + 1672,07) \cdot 11 / 100\% = 8395,69 \text{ грн.}$$

4.2.2 Відрахування на соціальні заходи

Нарахування на заробітну плату дослідників та робітників розраховуємо як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати дослідників і робітників за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{доп}}) \cdot \frac{H_{\text{зн}}}{100\%} \quad (4.6)$$

де $H_{\text{зн}}$ – норма нарахування на заробітну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (74652,38 + 1672,07 + 8395,69) \cdot 22 / 100\% = 18638,43 \text{ грн.}$$

4.2.3 Сировина та матеріали

До статті «Сировина та матеріали» належать витрати на сировину, основні та допоміжні матеріали, інструменти, пристрої та інші засоби і предмети праці, які придбані у сторонніх підприємств, установ і організацій та витрачені на проведення досліджень за темою «Підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування».

Витрати на матеріали на даному етапі проведення досліджень в основному пов'язані з використанням моделей елементів та моделювання роботи і досліджень за допомогою комп'ютерної техніки та створення експериментальних математичних моделей або програмного забезпечення,

тому дані витрати формуються на основі витратних матеріалів характерних для офісних робіт.

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{\text{в}j}, \quad (4.7)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

$C_{\text{в}j}$ – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 3,0 \cdot 292,00 \cdot 1,12 - 0 \cdot 0 = 981,12 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.6 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Офісний папір А4 500	292,00	3,0	0	0	981,12
Папір для записів А5 250	161,00	4,0	0	0	721,28
Органайзер офісний	198,00	4,0	0	0	887,04
Набір канцелярський офісний	216,00	3,0	0	0	725,76

Картридж для принтера	1110,00	1,0	0	0	1243,20
Диск оптичний CD-RW	22,10	2,0	0	0	49,50
Flesh-пам'ять DATA 32 GB	389,00	1,0	0	0	435,68
Всього					5043,58

4.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_6), які використовують при проведенні НДР на тему «Підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою:

$$K_6 = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (4.8)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, грн;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_6 = 1 \cdot 5480,00 \cdot 1,12 = 6137,60 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.7 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Модель-імітатор безпроводної мережі	1	5480,00	6137,60
Всього			6137,60

4.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{спец}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.}i} \cdot K_i, \quad (4.9)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{\text{пр.}i}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{\text{спец}} = 32671,00 \cdot 1 \cdot 1,11 = 36264,81 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 4.8 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Серверне обладнання на основі ЕОМ DELL А345-F71BC-78 підтримки безпроводної мережі	1	32671,00	36264,81
Всього			36264,81

4.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних)

необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою:

$$B_{npz} = \sum_{i=1}^k C_{inprz} \cdot C_{npz.i} \cdot K_i, \quad (4.10)$$

де C_{inprz} – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{npz.i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{npz} = 7845,00 \cdot 1 \cdot 1,11 = 8707,95 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 4.9 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Прикладне програмне забезпечення розробки та моделювання	1	7845,00	8707,95
Всього			8707,95

4.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_{б}}{T_{г}} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.11)$$

де $C_б$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

T_e – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (25320,00 \cdot 2) / (2 \cdot 12) = 2110,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Персональний комп'ютер проведення розробки та моделювання	25320,00	2	2	2110,00
Робоче місце інженера-розробника телекомунікаційних мереж	9150,00	5	2	305,00
Пристрої передачі даних	7620,00	4	2	317,50

Пристрій виводу інформації	6850,00	5	2	228,33
Оргтехніка	6680,00	4	2	278,33
Приміщення лабораторії	710000,00	20	2	5916,67
ОС Windows 11	8570,00	2	2	714,17
Прикладний пакет Microsoft Office 2019	7825,00	2	2	652,08
Всього				10522,08

4.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{\text{внi}}}{\eta_i}, \quad (4.12)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 6,20$ грн;

$K_{\text{внi}}$ – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{\text{внi}} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,25 \cdot 320,0 \cdot 6,20 \cdot 0,95 / 0,97 = 496,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.11 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Персональний комп'ютер	0,25	320,0	496,00

проведення розробки та моделювання			
Робоче місце інженера-розробника телекомунікаційних мереж	0,12	300,0	223,20
Пристрої передачі даних	0,01	250,0	15,50
Пристрій виводу інформації	0,42	15,0	39,06
Оргтехніка	0,50	5,0	15,50
Серверне обладнання на основі EOM DELL A345-F71BC-78 підтримки безпроводної мережі	0,32	320,0	634,88
Всього			1424,14

4.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cv} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cv}}{100\%}, \quad (4.13)$$

де H_{cb} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», прийmemo $H_{cb} = 0\%$.

$$B_{cb} = (74652,38 + 1672,07) \cdot 0 / 100\% = 0,00 \text{ грн.}$$

4.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (4.14)$$

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», прийmemo $H_{cn} = 30\%$.

$$B_{cn} = (74652,38 + 1672,07) \cdot 30 / 100\% = 22897,33 \text{ грн.}$$

4.2.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_s = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{is}}{100\%}, \quad (4.15)$$

де H_{is} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{is} = 50\%$.

$$I_s = (74652,38 + 1672,07) \cdot 50 / 100\% = 38162,22 \text{ грн.}$$

4.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів;

витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (4.16)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{нзв} = 125\%$.

$$B_{нзв} = (74652,38 + 1672,07) \cdot 125 / 100\% = 95405,56 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{одд} + Z_n + M + K_v + B_{спец} + B_{прз} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_v + B_{нзв}. \quad (4.17)$$

$$B_{заг} = 74652,38 + 1672,07 + 8395,69 + 18638,43062 + 5043,58 + 6137,60 + 36264,81 + 8707,95 + 10522,08 + 1424,14 + 0,00 + 22897,33 + 38162,22 + 95405,56 = 327923,86 \text{ грн.}$$

Загальні витрати ZB на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (4.18)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta = 0,9$.

$$ZB = 327923,86 / 0,9 = 364359,84 \text{ грн.}$$

4.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи

Оцінювання та доведення ефективності виконання науково-дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру є достатньо складним процесом і часто базується на експертних оцінках, тому має вірогідний характер.

Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи на тему «Підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування» використовується спеціальний комплексний показник, що враховує важливість, результативність роботи, можливість впровадження її результатів у виробництво, величину витрат на роботу.

Комплексний показник K_p рівня науково-дослідної роботи може бути розрахований за формулою:

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t}, \quad (4.19)$$

де I – коефіцієнт важливості роботи. Прийmemo $I = 4$;

n – коефіцієнт використання результатів роботи; $n = 0$, коли результати роботи не будуть використовуватись; $n = 1$, коли результати роботи будуть використовуватись частково; $n = 2$, коли результати роботи будуть використовуватись в дослідно-конструкторських розробках; $n = 3$, коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок. Прийmemo $n = 3$;

T_c – коефіцієнт складності роботи. Прийmemo $T_c = 2$;

R – коефіцієнт результативності роботи; якщо результати роботи плануються вище відомих, то $R = 4$; якщо результати роботи відповідають відомому рівню, то $R = 3$; якщо нижче відомих результатів, то $R = 1$. Прийmemo $R = 4$;

B – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн. Прийmemo $B = 364359,84$ грн;

t – час проведення дослідження. Прийmemo $t = 0,17$ років, (2 міс.).

Визначення показників I , n , T_C , R , B , t здійснюється експертним шляхом або на основі нормативів [20].

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_C \cdot R}{B \cdot t} = 4^3 \cdot 2 \cdot 4 / 364,4 \cdot 0,17 = 8,43.$$

Якщо $K_p > 1$, то науково-дослідну роботу на тему «Підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

4.4 Висновок до розділу 4

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування» складають 364359,84 грн. Відповідно до проведеного аналізу та розрахунків рівень наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування» є середній, а дослідження актуальними, рівень доцільності виконання науково-дослідної роботи $K_p > 1$, що свідчить про потенційну ефективність з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

У магістерській кваліфікаційній роботі виконується підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування. Дослідження і експерименти відбуваються з участю автоматизованого робочого місця.

Основним завданням охорони праці є виявлення шкідливих факторів в процесі трудової діяльності і зменшення їх шкідливого впливу на працівника.

При розробці датчика зусиль на основі напівпровідникових тензоризисторів для стимулятора лапароскопа, дослідження проводяться на ПК тому на працівника можуть впливати такі небезпечні та шкідливі фактори, у відповідності з прийнятою класифікацією:

Фізичні:

- підвищена та понижена температура повітря робочої зони;
- підвищена та понижена рухливість повітря робочої зони;
- недостатня освітленість робочої зони;
- недостатність природного освітлення;
- небезпечний рівень напруги в електричному колі, замикання якого може відбутися через тіло людини;
- підвищена та понижена вологість повітря;
- підвищений рівень електромагнітного опромінення.

Психофізіологічні: нервово – психічні перевантаження (монотонність праці, емоційні перевантаження, перенапруга аналізаторів).

Всі ці фактори пов'язані безпосередньо із специфікою роботи за персональним комп'ютером.

5.1 Технічні рішення з безпечного виконання робіт.

5.1.1 Технічні рішення з організації робочого місця під час проектування.

Для організації робочого місця керуємось основними вимогами до організації роботи з екранними пристроями.

Основні вимоги до організації роботи з екранними пристроями [4]:

- площа на одне робоче місце має становити не менше ніж 6,0 м², а об'єм не менше ніж 20,0 м³;
- природне освітлювання має забезпечувати коефіцієнт природної освітленості не нижче 1,5%. Розраховується КПО за методикою, викладеною в ДБН В.2.5–28–2006;
- віконні прорізи приміщень для роботи з ВДТ мають бути обладнані регульованими пристроями (жалюзі, завіски, зовнішні козирки);
- покриття підлоги повинне бути матовим з коефіцієнтом відбиття 0,3–0,5;
- забороняється для оздоблення інтер'єру приміщень ВДТ застосовувати полімерні матеріали (деревинно – стружкові плити, шпалери, що миються, рулонні синтетичні матеріали, шаруватий паперовий пластик тощо), що виділяють у повітря шкідливі хімічні речовини .
- у приміщеннях з ВДТ слід щоденно робити вологе прибирання;
- приміщенням з ВДТ мають бути обладнані побутові приміщення для відпочинку під час роботи, кімната психологічного розвантаження. В кімнаті психологічного розвантаження слід передбачити встановлення пристроїв для приготування й роздачі тонізуючих напоїв, а також місця для занять фізичною культурою

5.1.2. Електробезпека виробничого приміщення

Класифікація приміщень за категоріями електробезпеки залежно від мікроклімату виробничих будівель. Допустимими визнаються умови праці у будівлях, де відносна вологість повітря не перевищує 60%, температура повітря не перевищує 35 °С, а пил та хімічно агресивне середовище – відсутні. За таких умов праці мікроклімат вважається сухим. Вологими називаються умови роботи, де відносна вологість повітря становить від 60% до 75%. Сирі – це такі умови, які характеризуються відносною вологістю повітря в будівлі

більшою за 75%. Особливо сирі умови – це умови, із майже стовідсотковою відносною вологістю повітря. Гарячими умовами праці є становище, при якому температура повітря перевищує 35 °С. Запиленими визнаються умови, при яких виділяється велика кількість виробничого пилу, внаслідок чого він може залишатись на зовнішніх поверхнях або навіть проникати у середину обладнання чи апаратів. До умов праці з хімічно активним середовищем відносять умови, при яких у повітрі протягом тривалого часу залишаються гази або краплі рідин, які негативно впливають на ізолюючі властивості і струмопровідні елементи електричних інструментів.

Класифікація приміщень за рівнем електробезпеки Відповідно до ПУЕ, усі промислові приміщення (цехи, майстерні, склади) за ступенем ймовірності ураження електричним струмом можна розділити на три категорії: Будівлі з підвищеною небезпекою До цього типу будівель належать споруди, в яких наявний принаймні один із таких факторів: сирі приміщення, відносна вологість в яких протягом тривалого часу перевищує 75%; приміщення, в яких пил покриває провідники, забивається всередину машин та обладнання; приміщення зі струмопровідними підлогами (металевими, земляними, цегляними, залізобетонними); приміщення, в яких середня температура повітря зазвичай перевищує +30 °С; приміщення, в яких існує ймовірність одночасного торкання співробітника до зовнішніх елементів електричного устаткування і заземлених металевих конструкцій будівель, технологічного обладнання тощо.

Будівлі з особливо небезпечними умовами Ці будівлі характеризуються як дуже сирі приміщення зі стовідсотковою відносною вологістю. Стеля, стіни, підлога, устаткування у таких приміщеннях постійно вкриті тонким шаром крапель чи пліснявою. Слід бути вкрай обережними, оскільки при виконанні робіт з використанням електричної напруги на відкритому повітрі, всередині посудин, всередині непросохлих приміщень ймовірність ураження співробітників чи сторонніх осіб електричним струмом дуже висока. До

будівель з особливо небезпечними умовами належать також споруди з хімічно активним середовищем, яке завдяки своїм властивостям завдає шкоду ізоляції та електричним матеріалам. Окрім того, будівлі, які мають одночасно дві або більше ознаки приміщень з підвищеною небезпекою так само належать до будівель із особливо небезпечними умовами.

Будівлі без факторів збільшеної небезпеки До цієї категорії належать будівлі, в яких немає жодної з ознак, властивих приміщенням з підвищеною або особливою небезпекою[2].

Для створення оптимальних умов електробезпеки в виробничому приміщенні потрібно підтримувати режим вологості повітря на рівні 60%, для того щоб приміщення було сухим, та температуру повітря не вище 35°C. Постійний моніторинг середовища, на предмет пилу та хімічно агресивних речовин у складі повітря, для забезпечення електробезпеки приміщення.

5.2. Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

5.2.1 Мікроклімат

Метеорологічні умови виробничих приміщень (санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень ДСН 3.3.6.042–99) можна оцінювати за сукупністю таких факторів, як температура (t , °C), відносна вологість (φ , %), швидкість руху повітря (V , м/с) та величина інтенсивності теплового опромінення (E , Вт/м²). Крім цих параметрів іноді виникає потреба враховувати атмосферний тиск (роботи під водою тощо), який впливає на парціальний тиск основних компонентів повітря. За ступенем впливу на тепловий стан людини мікрокліматичної умови поділяють на оптимальні та допустимі. Оптимальні мікрокліматичні умови – поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину забезпечують зберігання нормального теплового стану організму без активізації механізмів терморегуляції. Вони забезпечують відчуття теплового

комфорту та створюють передумови для високого рівня працездатності [3]. Допустимі мікрокліматичні умови – поєднання параметрів мікроклімату, які при тривалому та систематичному впливі на людину можуть викликати зміни теплового стану організму, що швидко минають і нормалізуються та супроводжуються напруженням механізмів терморегуляції в межах фізіологічної адаптації. При цьому не виникає ушкоджень або порушень стану здоров'я, але можуть спостерігатися дискомфортні тепловідчуття, погіршення самопочуття та зниження працездатності[3].

Категорія робіт – розмежування робіт за важкістю на основі загальних енерговитрат організму[3]. Легкі фізичні роботи (категорія I) охоплюють види діяльності, при яких витрата енергії дорівнює 105–140 Вт (90–120 ккал/год.) – категорія Ia та 141–175 Вт (121–150 ккал/год.) – категорія Ib. До категорії Ia належать роботи, що виконуються сидячи і не потребують фізичного напруження. До категорії Ib належать роботи, що виконуються сидячи, стоячи або пов'язані з ходінням та супроводжуються деяким фізичним напруженням.

Визначаємо наявну категорію робіт, як Ia.

В кабінах, на пультах та місцях керування технологічними процесами, в залах ЕОМ при виконанні робіт операторського типу повинні забезпечуватися такі оптимальні величини температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, що зазначені в нормативному акті НПАОП 0.00-7.15-18 Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями.[4]

Оптимальні параметри мікроклімату наведені в табл.5.1.

Таблиця 5.1 – Оптимальні параметри мікроклімату при виконанні робіт операторського типу на ЕОМ для робіт категорії Ia

Період року	Температура повітря, °С	Відносна вологість, %	Швидкість руху, м\с
Холодний	22-24	60-40	0,1

Теплий	23-25	60-40	0,1
--------	-------	-------	-----

При плануванні умов робочого місця потрібно дотримуватись саме цих параметрів мікроклімату для досягнення оптимальних умов праці, що виконує важливу роль в якості виконаної роботи працівником та в безпеці його трудової діяльності. Для підтримки температурного режиму рекомендовано встановлення системи кондиціонування повітря.

5.2.2. Склад повітря робочої зони

В приміщенні, де здійснюється підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування, можливими шкідливими речовинами у повітрі є фенол, пил, озон та вуглекислий газ. Джерелами цих речовин є офісна техніка. Пил потрапляє у приміщення ззовні. ГДК шкідливих речовин, згідно ДСН 3.3.6.042-99 [8] які знаходяться в досліджуваному приміщенні, наведені в таблиці 5.2:

Таблиця 5.2 – ГДК шкідливих речовин

Назва речовини	Клас небезпечності	Максимально разова ГДК, мг/м ³	Середньо добова ГДК, мг/м ³
Фенол	3	0,01	0,01
Пил нетоксичний	4	0,5	0,15
Озон	4	0,16	0,03
Вуглекислий газ	4	3	1

Тому потрібен постійний контроль за показниками рівнів концентрації наведених вище речовин, дотримання гігієни приміщення (режиму прибирання, провітрювання). Постійний контроль роботи систем вентиляції приміщення, регулярне очищення фільтрів кондиціонера. Дотримання режиму праці відпочинку також відіграє значну роль як в перевантаженні техніки, так

і в кількості шкідливих речовин, що виділяються і які діють на організм на протязі робочого дня .

5.2.3 Виробниче освітлення

Відповідно до ДБН В.2.5-28:2018 [6] Система природного освітлення відноситься до бокової. Характеристика зорових робіт – середньої точності.

Норми освітленості при штучному освітленні та КПО (для III пояса світлового клімату) при природному та сумісному освітленні зазначені у таблиці 5.3:

Таблиця 5.3 - Норми освітленості в приміщенні

Характеристика зорової роботи	Найменший розмір об'єкта розрізнення	Розряд зорової роботи	Підряд зорової роботи	Контраст об'єкта розрізнення з фоном	Характеристика фона	Освітленість, лк		КПО, %			
						Штучне освітлення		Природне освітлення		Сумісне освітлення	
						Комбіноване	Загальне	Верхнє або верхнє	Бокове	Верхнє або верхнє і бокове	Бокове
Середньої точності	Від 0,5 до 1,0	IV	б	середній	середній	200	500	4	1,5	2,4	0,9

При експлуатації штучного освітлення здійснюється контроль за рівнем напруги освітлювальної мережі, своєчасна заміна перегорілих ламп, забезпечується чистота повітря у приміщенні.

5.2.4 Виробничий шум

Джерелами шуму під час виконання робіт є обладнання, машини, механізми – механічний шум. Шум – це хаотична сукупність різних за силою і

частотою звуків, що заважають сприйняттю корисних сигналів і негативно впливають на людину. Постійна дія сильного шуму може не лише негативно вплинути на слух, але й викликати інші шкідливі наслідки - дзвін у вухах, запаморочення, головний біль, підвищення втоми, зниження працездатності.

Нормативним документом, який регламентує рівні шуму для різних категорій робочих місць службових приміщень, є ДСН 3.3.6.037-99 [7].

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні звукового тиску в октанових смугах частот, рівні шуму та еквівалентні рівні шуму

Робоче місце	Рівні звукового тиску (дБ) в октавних смугах з середньо герметичними частотами, Гц									Рівні шуму та еквівалентні рівні шуму, (дБ)
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Для програмістів операторів ЕОМ (ПЕОМ)	86	71	61	54	49	45	42	40	38	50

Для зменшення рівня шуму до допустимого в цеху двигуни виконуються в металевому кожусі, а також виконують змащення, застосовують пластмасові деталі, використовують протишумні навушники, які закривають вушну раковину.

5.2.5. Електромагнітні випромінювання

У теперішній час рядом країн розроблено документи, які регламентують правила користування дисплеями. Найбільш відомі шведські документи MPR

П 1990:8 (Шведського національного комітету з захисту від випромінювань) та більш жорсткий стандарт ТСО 95 (Шведської конференції професійних союзів). Ці норми застосовуються у всіх країнах Скандинавії і рекомендовані до розповсюдження в країнах ЕС. Вимоги норм МРР до рівня електромагнітних випромінювань у 20 разів жорсткіші, ніж вимоги ГОСТ, що обмежують рівень випромінювання радіочастот, вимоги ТСО 95 жорсткіші у 50 разів. Нижче приводяться для порівняння з ГОСТ 12.1.006-84 «Електромагнітні поля радіочастот» дані шведського стандарту МРР П1990:8. В діапазоні частот 5 Гц–2 кГц напруженість електричного поля E не повинна перевищувати 25 В/м, а магнітна індукція – 250 нТл. Це рівнозначно напруженості магнітного поля $H = 0,2$ А/м. В діапазоні частот 2–400 кГц – $E \leq 2,2$ В/м, а $H \leq 0,02$ А/м. Такі самі значення прийняті тепер і в Росії згідно СанПиН 2.2.2.542-96 для відео-дисплейних терміналів на відстані 50 см від них. Цими нормами рекомендується користуватися і в Україні.

У всіх випадках для захисту від випромінювань очі повинні бути розташовані на відстані витягнутої руки до монітора (не ближче 70 см). Більш пізні монітори з маркуванням Low Radiation практично задовольняють вимоги шведських стандартів. Комп'ютери з рідкокристалічним екраном не наводять статичної електрики і не мають джерел відносно потужного електромагнітного випромінювання. При використанні блока живлення виникає деяке перевищення рівня на промисловій частоті, тому рекомендується працювати від акумулятора. Найбільш ефективна система захисту від випромінювань реалізується через створення додаткового металічного внутрішнього корпусу, що замикається на вбудований закритий екран. За такої конструкції вдається зменшити електричне та електростатичне поле до фонових значень вже на відстані 5–7 см від корпусу, а за умови компенсації магнітного поля така конструкція забезпечує максимально можливу у наш час безпеку. Такі монітори коштують на 200–400 доларів дорожче звичайних.

5.2.6 Психофізіологічні фактори

Психофізіологічні фактори безпеки – чинники, обумовлені особливостями фізіології та психології людини, що можуть завдати їй шкоди за певних обставин.

Небезпечні та шкідливі психофізіологічні виробничі чинники залежно від характеру дії поділяють на такі групи:

- фізичні перевантаження (статичні, динамічні);
- нервово-психічні перевантаження (розумові перевантаження, перевантаження аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження)

Психофізіологічні фактори вибираються відповідно з Гігієнічною класифікацією праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу [8].

Психофізіологічні фактори при роботі з ПК:

- перенапруження зорових аналізаторів;
- монотонність трудового процесу;
- розумове перенапруження;
- нервово-емоційні перевантаження.

Класи умов праці за показниками напруженості праці:

Інтелектуальні навантаження:

Зміст роботи – рішення складних завдань з вибором за алгоритмом;

Сприймання інформації та їх оцінка – сприймання інформації з наступною корекцією дій та операцій;

Розподіл функцій за ступенем складності завдання - обробка, контроль, перевірка завдання.

Сенсорні навантаження:

Зосередження (%за зміну) – до 50%;

Щільність сигналів (звукові за 1 год) – до 150;

Навантаження на слуховий аналізатор (%) – розбірливість слів та сигналів від 50 до 80 %;

Навантаження на голосовий апарат (протягом тижня) – від 20 до 25%.

Емоційне навантаження:

Ступінь відповідальності за результат своєї діяльності – є відповідальним за функціональну якість основної роботи; Ступінь ризику для власного життя – вірогідний;

Ступінь відповідальності за безпеку інших осіб – є відповідальним за безпеку інших.

Режим праці:

Тривалість робочого дня – більше 8 год;

Змінність роботи – однозмінна (без нічної зміни).

5.3 Заходи з цивільного захисту. Організаційні заходи оповіщення.

Організаційні заходи оповіщення передбачають: розробку порядку та схем проведення оповіщення, інструкцій щодо виконання дій з оповіщення для оперативних чергових та відповідальних за оповіщення осіб; розробку посадових обов'язків щодо проведення оповіщення для посадових осіб, які повинні виконувати оповіщення; доведення обов'язків щодо проведення оповіщення до відповідних осіб та навчання діям з оповіщення; організацію технічних служб для обслуговування систем оповіщення та зв'язку і призначення відповідальних осіб за їх працездатний стан, розробку графіків перевірок та технічного обслуговування систем; організацію системи контролю за виконанням вимог до оповіщення; розробку правил дій за сигналами оповіщення та навчання працівників об'єкта та населення цим діям; організацію зв'язку та взаємодії між різними службами, органами влади, органами з питань НС міністерств та галузей, оперативних служб і чергових, комісій і штабів ЦЗ об'єктів.

Усі місцеві органи виконавчої влади, підприємства, установи та організації, незалежно від форм власності, зобов'язані: забезпечити встановлення електросирен з можливістю централізованого запуску (місце їх встановлення визначає відповідний територіальний орган ЦЗ з урахуванням озвучування території); забезпечити встановлення вуличних гучномовців у місцях масового зосередження працівників та населення; оснастити усі службові, виробничі, адміністративні, навчальні, лікувальні приміщення радіотрансляційними точками; безперешкодно допускати технічних працівників до обслуговування систем оповіщення та зв'язку. Забороняється вимикати радіотрансляційні точки та абонентські лінії, по яких здійснюється запуск електросирен від державного радіомовлення, демонтувати вуличні гучномовці без узгодження з відповідними органами ЦЗ. За самовільне відключення систем оповіщення посадові особи притягуються до відповідальності згідно з чинним законодавством. Керівники відповідних органів ЦЗ відповідають за оперативну готовність СЦО, створення резерву апаратури та запасних частин, удосконалення систем, опечатування панелей апаратури, своєчасне закладання на підприємствах та установах пакетів з паролями і текстами повідомлень до населення. Керівники органів МВС відповідають за зберігання апаратури засобів оповіщення, правильне виконання оперативними черговими інструкцій щодо застосування апаратури оповіщення. Керівники об'єктів відповідають за збереження, працездатність та своєчасність обслуговування апаратури, виконання оперативними черговими інструкцій щодо застосування засобів оповіщення. У випадку несправності, а також несанкціонованого застосування (запуску) засобів оповіщення треба негайно виконувати дії щодо відновлення їх працездатності. По цих фактах проводиться розслідування і складається акт відповідним органом ЦЗ, з одного боку, і дирекцією об'єкта – з іншого.

Один примірник акта подається до МНС. У всіх випадках використання систем оповіщення з увімкненням сирен негайно доводиться до населення

відповідне повідомлення засобами дротового, радіо- та телевізійного мовлення. Тексти повідомлень передаються протягом 5 хв державною мовою і мовою, якою користується більшість населення в регіоні, з припиненням інших передач. Почувши звуки електросирен, виробничих гудків, інших сигнальних засобів, кожен громадянин зобов'язаний: увімкнути радіоприймач, телеканал місцевого віщання; уважно прослухати звернення до населення, яке пролунає після відключення сирен, гудків тощо; продумати і виконати усі рекомендації; знайти можливість сповістити отриману інформацію сусідам чи знайомим, по можливості надати їм допомогу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Панфілов І.П. Теорія електричного зв'язку / І.П. Панфілов, В.Ю. Дирда, А.В. Канацін. – К.: Техніка, 1998. – 325 с.
2. Побудова сенсорної мережі аеропорту та її інтеграція з бездротовою мережею аеропорту стандарту 802.11 [Текст] / О. П. Ткаліч, Р. С. Одарченко, О. Ю. Устинов, Д. О. Колодинський // Современный научный вестник. – 2013. – Т. 2, № 1. – С. 139–143.
3. Кривуля Г.Ф., Власов В.А. Автономна система моніторингу та контролю технічних об'єктів з використанням безпроводних сенсорних мереж. Вісник Нац. технічного університету сільського господарства ім.Петра Василенка. Випуск 187 "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України".2017 р. Харків. 64-67с. ..
4. ZigBee Alliance [Електронний ресурс].– Режим доступа: <http://www.zigbee.org/>.– 20.06.2016.
5. Лисенко О. І. Функціональна модель системи управління безпроводовою сенсорною мережею із самоорганізацією для моніторингу параметрів навколишнього середовища / О. І. Лисенко, К. С. Козелкова, В. І. Новіков, Т. О. Прищеп, А. В. Романюк // Системи обробки інформації. - 2015. - Вип. 10. - С. 222-225. - ISSN 1681-7710.
6. Новіков В.І., Воловик В.А. Доставка повільного трафіку в сенсорній мережі з самоорганізацією / В.І. Новіков, В.А. Воловик // Науковий вісник Академії муніципального управління. Збірник наукових праць. Серія «Техніка». – 2015. – Вип.9. – С. 136-141.
7. Стеклов В.К. Проектування телекомунікаційних мереж / В.К. Стеклов, Л.Н. Беркман – К.: Техніка, 2002.-792 с.
8. Блум, Д. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства [Текст] / Д. Блум. – Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2015. – 336 с.

9. Krivoulya, G.F., Yayra Maud, Bogomazov Є. Localization of nodes largescale wireless sensor networks. ТЕЗИ ДВАДЦЯТОЇ МІЖНАРОДНОЇ НАУКОВО-ТЕХНІЧНОЇ КОНФЕРЕНЦІЇ «ПРОБЛЕМИ ІНФОРМАТИКИ ТА МОДЕЛЮВАННЯ» (ПІМ-2020) 16 – 20 вересня 2020 р. Харків – Одеса. С.15.

10. Патент України на винахід № 66435. H03L7/00 / Бондарев А.П., Мартинів М.С. "Пристрій фазової автопідстройки частоти". Заявка № 4869869 від 01.10.90; Опубл.: Бюл. №5, 2004. –4 с.

11. Бондарев А.П. Залежність спектру фазових флуктуацій пристрою синхронізації від характеристик фазового детектора // Моделювання та інформаційні технології. –2003. –Вип.20. –С. 198–202.

12. Фомин А. Ф. и др. Аналоговые и цифровые синхронно-фазовые измерители и демодуляторы / А. Ф. Фомин, А. И. Хорошавин, О. И. Шелухин; Под ред. А. Ф. Фомина. — М.: Радио и связь, 1987. — 248 с.: ил.

13. Стеклов В.К. Системи фазового автопідстроювання та синхронно-фазові демодулятори / В.К. Стеклов, І.С. Щербина – К.: Техніка, 2006.-288 с.

14. Кухарчук В.В., Ігнатенко О.Г., Обертюх Р.Р. Методичні вказівки до оформлення дипломних проєктів (робіт) для студентів всіх спеціальностей.- В.: ВДТУ, 2002.

15. Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проєктах та роботах. Навчальний посібник. – В.: ВДТУ, 2003.

16. ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація, звіти у сфері науки і техніки.- К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

17. Разработка и оформление конструкторской документации радиоэлектронной аппаратуры. Справочник. Под ред. Э.Т.Романьчевой.- М: Радио и связь, 1989.

18. Бортник Г.Г., Стальченко О.В. Методичні вказівки до дипломного проектування для студентів спеціальності «Телекомунікаційні системи та мережі» усіх форм навчання.- Вінниця:ВНТУ, 2009.- 54 с.

19. Милых М.М. Демодуляторы приема сигналов с фазоразностной модуляцией второго порядка / М.М. Милых, Л.В. Рудык, И.А. Кожин // Вісн. УБЕНТЗ. – 2004. - №1. – С. 132-138.

20. Аналоговые и цифровые синхронно-фазовые измерители и демодуляторы / А.Ф. Фомин, А.И. Хорошавин, О.И. Шелухин. Под ред. А.Ф. Фомина. -М.: Радио и связь, 1987. –248 с.

21. Андронов А.А., Витт А.А., Хайкин С.С. Теория колебаний. -М.: Наука,1981. –568с.

22. Бакаев Ю.Н. Построение рабочих зон систем автоматического регулирования фаз // Известия АН СССР. ОТН, "Энергетика и автоматика". – 1960. –№2. –С. 132-136.

23. Бакаев Ю.Н., Гуж А.А. Оптимальный приём сигналов с частотной модуляцией в условиях эффекта Доплера // Радиотехника и электроника. – 1965. –Т.10, №1. –С.175-196.

24. Белых В.Н. Анализ непрерывных СФС методом двумерных систем сравнения /Системы фазовой синхронизации – М.: Радио и связь, 1982–С.45-54.

25. Белюстина Л.Н., Белых В.Н. О глобальной структуре разбиения цилиндрического фазового пространства одной неавтономной системы // Дифференциальные уравнения. –1973. –Т.9, №4. –С. 595-607.

26. Белюстина Л.Н., Белых В.Н. О режимах работы системы ФАП с малой инерционностью в цепи управления при действии аддитивной гармонической помехи // Изв. Вузов. Радиофизика. –1972. -Т. 15, №7. –С. 1637–1643.

27. Белюстина Л.Н. Исследование фазового пространства некоторых систем синхронизации / Фазовая синхронизация. –М: Связь, 1975. –С. 21-38.

28. Белюстина Л.Н., Кивелева К.Г., Фрайман Л.А. Качественно - численный метод в исследовании трехмерных нелинейных СФС / Системы фазовой синхронизации. –М.: Радио и связь, 1982. –С. 21-44.

29. Беркман Л.Н., Костик Б.Я., Мирошников В.В. Анализ точности нелинейных и фазовой автоподстройки в установившихся режимах. // Зв'язок. –2004. –№8(52). –С. 54-57.

30. Боголюбов Н.Н. Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний. –М.: Наука, 1974. –504 с.

31. Бондарев А.П. О кумулянтном анализе систем ФАПЧ при воздействии гармонической помехи // Теоретическая электротехника. –1985. –Вып. 12. - С.79-84.

32. Бондарев А.П. Предельные параметры СФС при воздействии случайной и гармонической помех / Львов, политехи, ин-т. –Львов, 1986. –6с. –Рус. Деп. в УКРНИИНТИ, №1129 - Ук.86.

33. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень

34. ДБН В. 2.5-28-2006 – Природне і штучне освітлення – К.: Мінбуд України, 2006 – 76 с.

35. ДСН 3.3.6.039-99 Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації

36. ГОСТ 12.1.030-81 ССБТ Электробезопасность. Защитное заземление, зануление. Общие требования безопасности.

37. Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – Вінниця: ВДТУ, 2003. – 75 с.

ДОДАТКИ

Додаток А
(обов'язковий)
ВНТУ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Зав.кафедри ІКСТ ВНТУ,
докт. техн. наук, професор
В.М. Кичак
“ ___ ” _____ 2022 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи
**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ БЕЗПРОВІДНИХ МЕРЕЖ У СИСТЕМАХ
ВІДДАЛЕНОГО МОНІТОРИНГУ ТА КЕРУВАННЯ**
08-34.МКР.007.00.000 ТЗ

Керівник роботи
к.т.н., ст. викладач кафедри ІКСТ ВНТУ
Макогон В.І.

Виконавець: ст. гр. ТКС-21м
Лугініч Є.В.

Вінниця-2022

1 ПІДСТАВА ДЛЯ ВИКОНАННЯ РОБОТИ

Робота проводиться на підставі наказу ректора по Вінницькому національному технічному університету від “14” 09 2022 року № 203 та індивідуального завдання на магістерську кваліфікаційну роботу.

Дата початку роботи: 01.09.2022 р.

Дата закінчення: 19.12.2022 р.

2 МЕТА І ПРИЗНАЧЕННЯ МКР

Метою кваліфікаційної роботи є аналіз та удосконалення існуючих методів підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого керування та моніторингу

Задачами магістерської кваліфікаційної роботи є:

- визначити задачі та функції сучасних безпроводних мереж;
- провести аналіз існуючих методів розробки безпроводних сенсорних мереж;
- оцінити вплив структури мережі на її основні технічні показники;
- оцінити ефективність безпроводних сенсорних мереж для віддаленого моніторингу та керування спроектованих з використанням нечіткої логіки .

Об'єктом дослідження є процеси передавання даних у цифрових безпроводових мережах.

Предметом дослідження є методи та засоби підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування
Основними завданнями роботи є:

- виконати техніко-економічне обґрунтування доцільності дослідження;
- провести аналіз методів побудови безпроводних сенсорних мереж;
- провести аналіз показників ефективності безпроводних сенсорних мереж;
- провести аналіз методів підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування;
- провести оцінку впливу зовнішніх завад на показники ефективності безпроводних сенсорних мереж;
- провести аналіз методів підвищення швидкодії безпроводних сенсорних мереж;
- проаналізувати економічну ефективність проведеного дослідження;
- здійснити аналіз питань охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях.

Дослідження виконані в ході виконання роботи дозволять проаналізувати вплив структури мережі на її енергоефективність та пропускну здатність, що дає можливість визначити шляхи підвищення ефективності бездротових сенсорних мереж для віддаленого моніторингу та керування.

3 ВИХІДНІ ДАНІ ДЛЯ ПРОВЕДЕННЯ МКР

Список використаних джерел розробки:

3.1 Оптимізація та моделювання пристроїв і систем зв'язку: Підр. для вищ. навч. закл./В.К. Стеклов, Л.Н. Берман, Є.В. Кільчинський; За ред. В.К. Стеклова. – К.: Техніка, 2004. – 576 с.

3.2 Сучасні системи управління в телекомунікаціях: За заг. ред / В. К.

Стеклов, Б. Я. Костік, Л. Н. Беркман. - К. : Техніка, 2005. - 400 с.

3.3 Стеклов В.К. Оптимізація та моделювання пристроїв та систем зв'язку : підруч. Для вищ. навч. закл. / В. К.Стеклов, Л.Н. Беркман, Є.В. Кільчицький; за ред. В.К. Стеклова. – Київ : Техніка, 2004. – 576 с..

3.4 Побудова сенсорної мережі аеропорту та її інтеграція з бездротовою мережею аеропорту стандарту 802.11 [Текст] / О. П. Ткаліч, Р. С. Одарченко, О.Ю. Устинов, Д. О. Колодинський // Современный научный вестник. – 2013. – Т.2, № 1. – С. 139–143.

3.5 Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти у Вінницькому національному технічному університеті / Уклад. А. О. Семенов, Л. П. Громова, Т.В. Макарова, Сердюк О.В. – Вінниця: ВНТУ, 2021 – 60 с.

3.6 Кухарчук В.В., Ігнатенко О.Г., Обертюх Р.Р. Методичні вказівки до оформлення дипломних проектів (робіт) для студентів всіх спеціальностей.- В.: ВДТУ, 2002.

3.7 Козловський В.О. Техніко-економічні обґрунтування та економічні розрахунки в дипломних проектах та роботах. Навчальний посібник. – В.: ВДТУ, 2003.

3.8 ДСТУ 3008-2015. Інформація та документація, звіти у сфері науки і техніки.- К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016.

3.9 Бортник Г.Г., Васильківський М.В. Методичні вказівки до підготовки магістерських кваліфікаційних робіт для студентів спеціальності «Телекомунікації та радіотехніка» усіх форм навчання.- Вінниця:ВНТУ, 2018.- 50 с.

4 ВИКОНАВЕЦЬ

Вінницький національний технічний університет, кафедра інфокомунікаційних систем і технологій, студент групи ТКС-21м Лугініч Є.В.

5 ВИМОГИ ДО ВИКОНАННЯ МКР

Пропонується виконати дослідження методів підвищення ефективності безпроводних мереж у системах віддаленого моніторингу та керування.

Технічні вимоги, яким повинна відповідати розробка, наступні:

- мережа сенсорів стандарту IEEE 802.15.;
- деревовидна топологія з елементами зірка та точка – точка;
- швидкість передачі в мережі до 250кБіт/с;
- кількість елементів в мережі 5-100;

При аналізі безпроводних мереж віддаленого контролю та керування використовувались загально визнані САПР.

6 ЕТАПИ МКР І ТЕРМІНИ ЇХ ВИКОНАННЯ

№	Назва та зміст етапу	Термін виконання		Очікувані результати	Звітна документ-тація
		початок	закінчення		
1.	Розробка технічного завдання (ТЗ)	01.09.2022р.	12.09.2022р.	Розроблене ТЗ	Додаток А
2.	Аналіз методів і засобів підвищення ефективності безпроводних мереж	20.09.2022р.	07.10.2022р.	Проведений аналіз	Вступ Розділ 1
3.	Розробка методу підвищення ефективності безпроводних мереж	08.10.2022р.	28.10.2022р.	Визначений найкращий метод	Розділ 2
4.	Дослідження параметрів і характеристик покращених безпроводних мереж	29.10.2022р.	18.11.2022р.	Характеристики і параметри	Розділ 3
5.	Техніко-економічне обґрунтування та аналіз економічної ефективності	19.11.2022р.	25.11.2022р.	Економічна частина МКР	Розділ 4

6.	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	26.11.2022р.	02.12.2022р.	Частина ОП та БНС	Розділ 5
7.	Оформлення пояснювальної записки (ПЗ) та графічної частини	03.12.2022р.	09.12.2022р.	Оформлена документація	ПЗ та графічна частина
8.	Нормоконтроль, попередній захист, опонування МКР	12.12. 2022р.	14.12.2022р.	Позитивні відзиви	Відгуки
9.	Захист МКР ЕК		19.12.2022р.	Позитивний захист	Протокол ЕК

7 ОЧІКУВАНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ПОРЯДОК РЕАЛІЗАЦІЇ МКР

В результаті виконання роботи будуть досліджені і визначені:

- задачі та функції, безпроводних сенсорних мереж;
- існуючі методи розробки безпроводних сенсорних мереж;
- вплив структури мережі на її основні технічні показники;
- ефективність безпроводних сенсорних мереж для віддаленого моніторингу та керування спроектованих з використанням нечіткої логіки .
- економічна частина МКР;
- розділ ОП та БНС;
- рекомендації щодо подальшого використання дослідженого алгоритму.

Результати, отримані в процесі виконання даної роботи, будуть впроваджені в галузі телекомунікацій:

Очікуваний техніко-економічний ефект. При впровадженні результатів досліджень очікується проаналізувати методи підвищення ефективності систем віддаленого контролю та керування.

8 МАТЕРІАЛИ, ЯКІ ПОДАЮТЬ ПІСЛЯ ЗАКІНЧЕННЯ РОБОТИ ТА ПІД ЧАС ЕТАПІВ

За результатами виконання МКР до ЕК подаються пояснювальна записка, графічна частина МКР, відзив і рецензія.

9 ПОРЯДОК ПРИЙМАННЯ МКР ТА ЇЇ ЕТАПІВ

Поетапно результати виконання МКР розглядаються керівником роботи та обговорюються на засіданні кафедри.

Захист магістерської кваліфікаційної роботи відбувається на відкритому засіданні ЕК.

10 ВИМОГИ ДО РОЗРОБЛЮВАНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

Документація, що розробляється в процесі виконання досліджень повинна містити:

- техніко-економічне обґрунтування розробки;
- схеми проведення досліджень;
- аналіз впливу структури мережі на основні технічні показники систем передачі інформації;
- ефективність безпроводних сенсорних мереж для віддаленого моніторингу та керування спроектованих з використанням нечіткої логіки;
- економічну частину та розділ БЖД і ЦЗ;
- рекомендації щодо подальшого використання досліджених безпроводних систем віддаленого контролю та керування.

11 ВИМОГИ ЩОДО ТЕХНІЧНОГО ЗАХИСТУ ІНФОРМАЦІЇ З ОБМЕЖЕНИМ ДОСТУПОМ

У зв'язку з тим, що інформація не є конфіденційною, заходи з її технічного захисту не передбачаються.

Додаток Б

(Обов'язковий)

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи
на наявність текстових запозичень

ПРОТОКОЛ
ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ
НА НАЯВНІСТЬ ТЕКСТОВИХ ЗАПОЗИЧЕНЬ

роботи: Підвищення ефективності безпроводних мереж у системах
еного моніторингу та керування

боти: Магістерська кваліфікаційна робота
(БДР, МКР)


діл кафедра інфокомунікаційних систем і технологій, факультет
аційних електронних систем
(кафедра, факультет)

Показники звіту подібності Unicheck

альність 94,32 % Схожість 5,68 %


віту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість є сумнівні щодо цінності роботи і відсутності самостійності її виконання автором. направити на розгляд експертної комісії кафедри.
3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування совісних запозичень.

ідповідальна за перевірку  Васильківський М.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

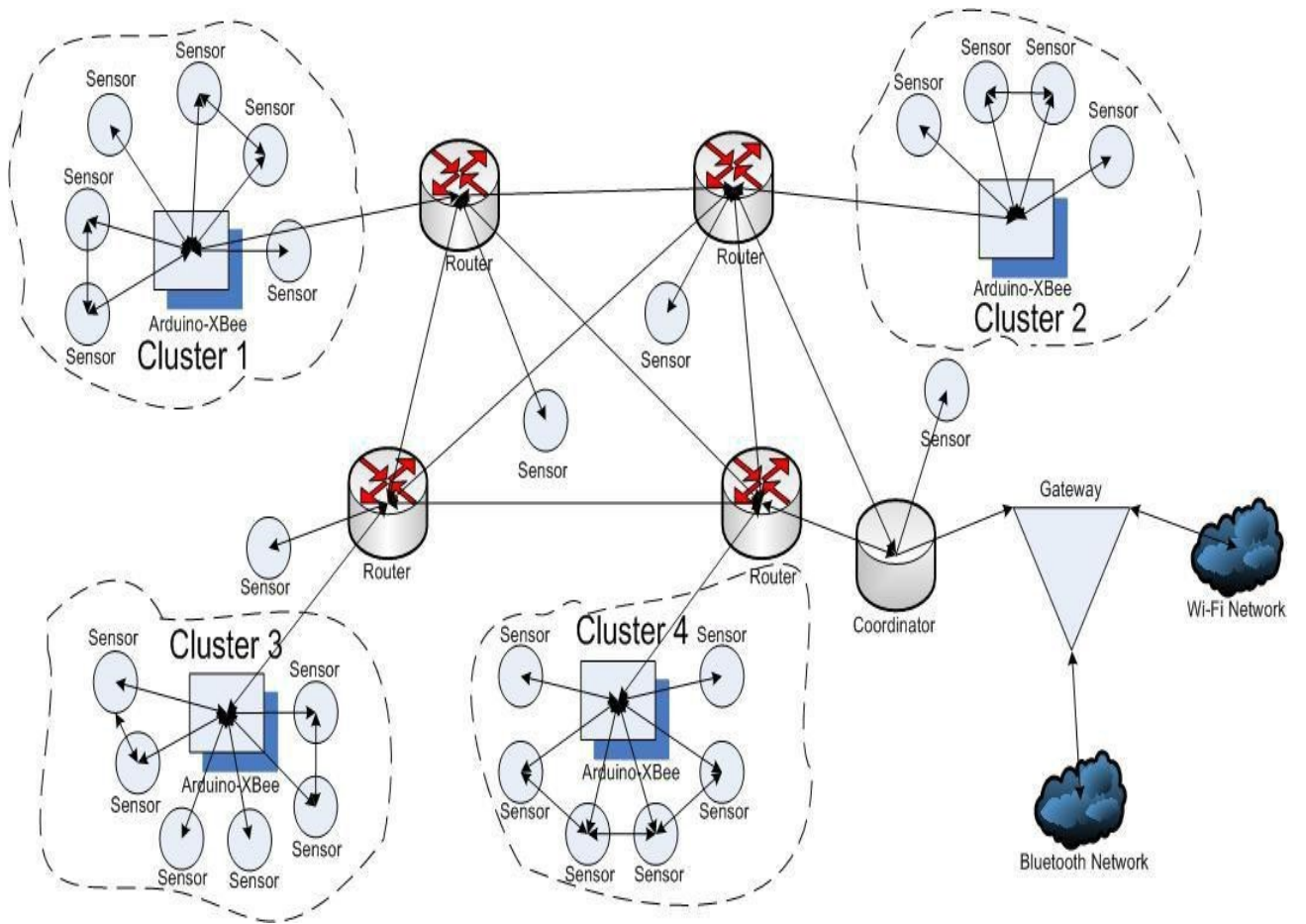
омлені з повним звітом, який був згенерований системою Unicheck щодо

роботи  Лугініч Є.В.
(підпис) (прізвище, ініціали)

ак роботи  Макогон В.І.
(підпис) (прізвище, ініціали)

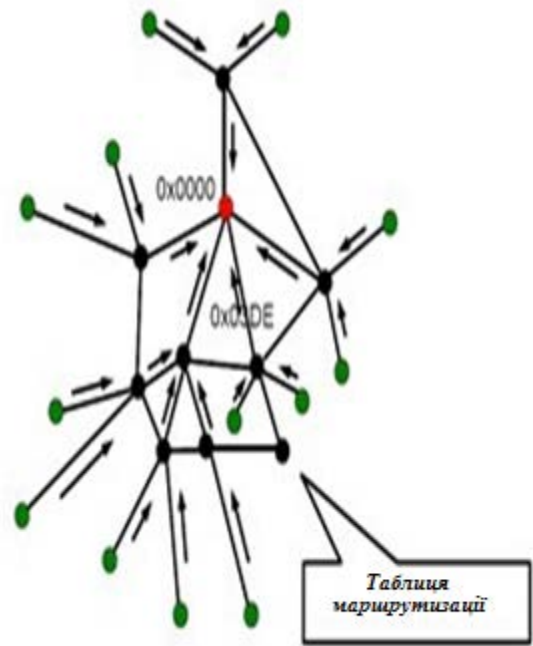
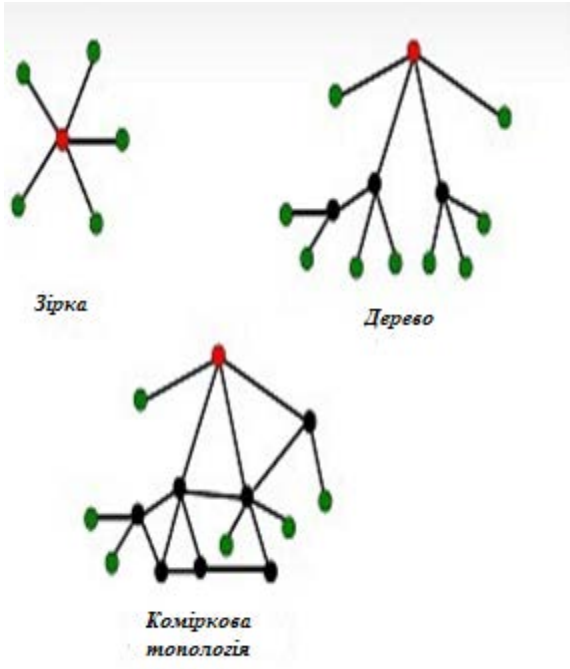
Додаток В
(Обов'язковий)

Бездротова сенсорна мережа



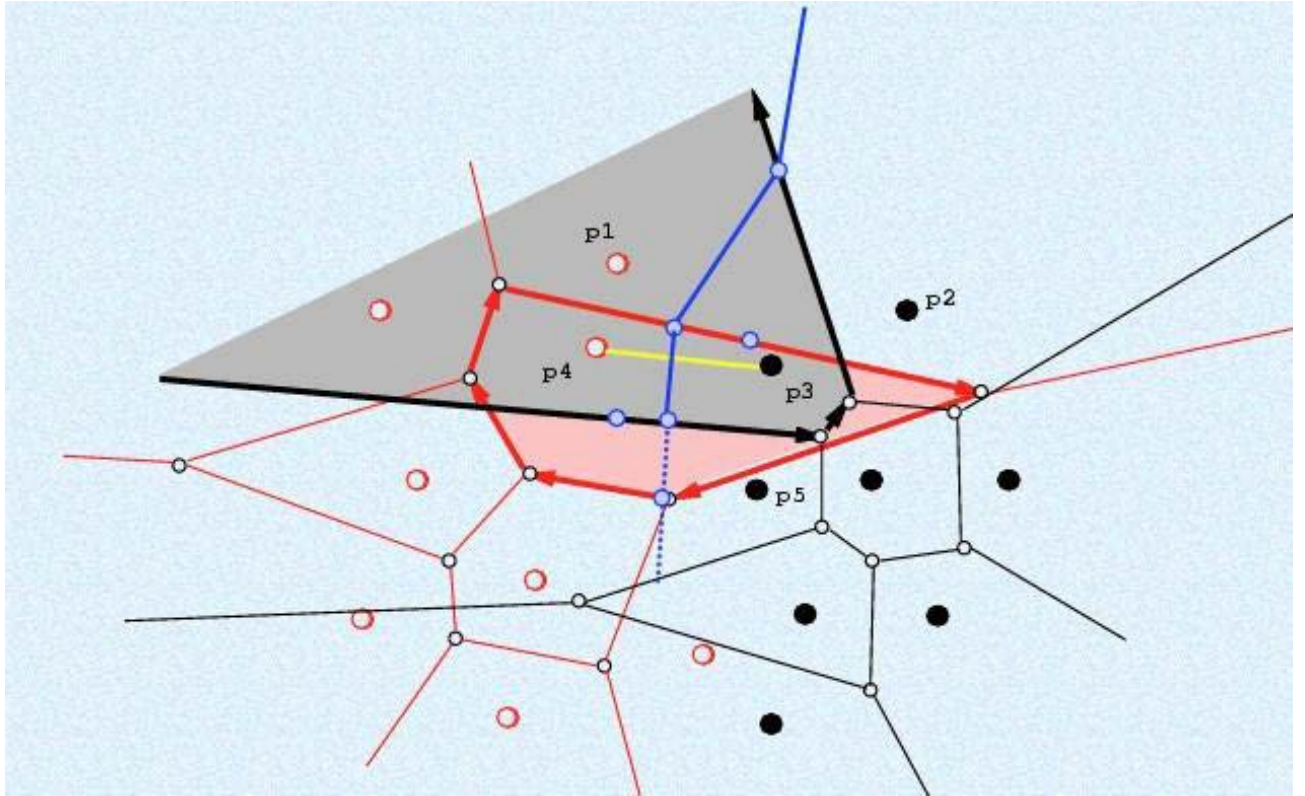
Додаток Г
(Обов'язковий)

Види топологій бездротових сенсорних мереж



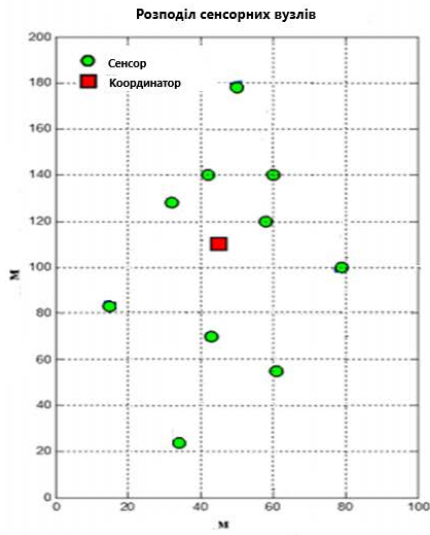
Додаток Д
(Обов'язковий)

Вигляд діаграми Вороного для безпроводних сенсорних мереж

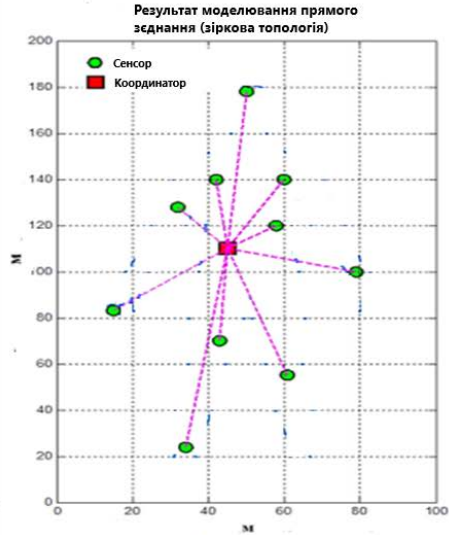


Додаток Е
(Обов'язковий)

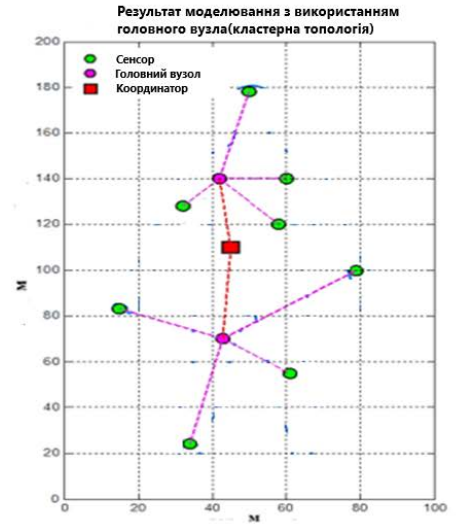
Результати моделювання топології розробленої з
використанням нечіткої логіки



(а)



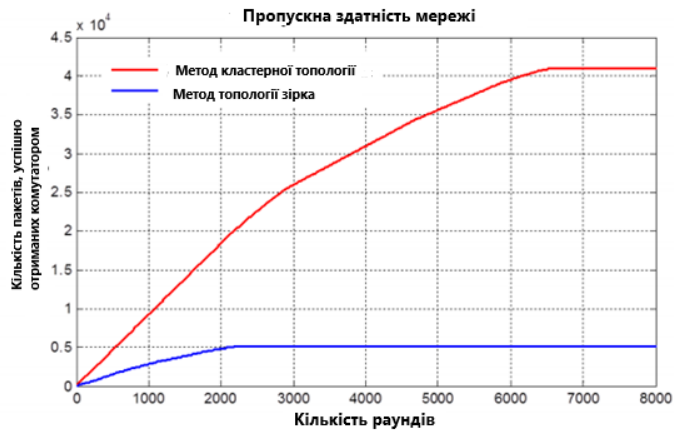
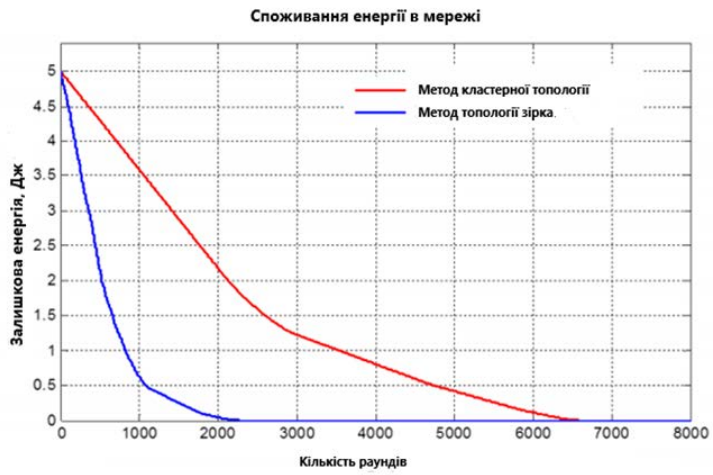
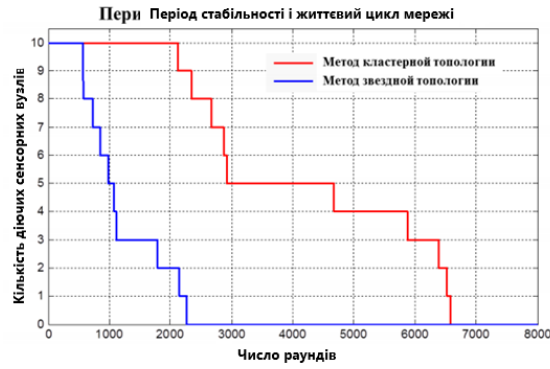
(б)



(в)

Додаток Ж
(Обов'язковий)

Результати моделювання безпроводних сенсорних мереж



Додаток Л
(Обов'язковий)

Моделювання кількості сеансів зв'язку для різних топологій
безпроводних сенсорних мереж

